



Escuela  
Politécnica  
Superior

# Estructuras destinadas a la escalada



Grado en Fundamentos de la Arquitectura

## Trabajo Fin de Grado

Autora:

Carla Samper Llorens

Tutor:

Antonio Maciá Mateu

Julio 2021



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante





Agradecimientos a mi familia, compañeros, profesores y a todas las personas que me han ayudado a lo largo de este camino lleno de experiencias.



*"¿Es posible crear una arquitectura que sea como una roca? Una arquitectura tan robusta y sólida como una roca. Una que contenga muchas expresiones. Quiero crear una variedad de espacios de la forma más fácil y sencilla posible. Me pregunto si podría ser posible que la arquitectura se forme de alguna manera natural, así como las rocas se generan al solidificar el sedimento."*

Junya Ishigami



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN A LA ESCALADA .....	22
1.1 HISTORIA .....	22
1.2 ¿CÓMO ESCALAR UNA PARED? .....	23
1.3 MODALIDADES .....	24
1.3.1 ESCALADA EN ROCA .....	24
1.3.2 ESCALADA ARTIFICIAL .....	26
1.4 DIFICULTAD .....	27
1.5 MATERIALES .....	28
1.6 PRESAS Y AGARRES .....	30
1.7 MOVIMIENTOS .....	33
2. OBJETIVOS .....	36
3. REFERENCIAS .....	36
3.1 REFERENCIAS OBRAS .....	36
3.2 REFERENCIAS ROCÓDROMOS .....	42
4. METODOLOGÍA .....	45
5. EXPERIENCIA PERSONAL .....	47
5.1 ¿PODRÍA EXISTIR MI VÍA Y SITIO PERFECTO PARA ESCALAR? .....	51
6. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES .....	54
6.1 ESTRUCTURAS LIGERAS .....	54
6.1.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS .....	54
6.1.3 CLASIFICACIÓN .....	55
6.1.4 TENSIONES DE FLECCIÓN EN CÚPULAS .....	55
6.1.5 CONSTRUCCIÓN .....	56
6.1.6 EJEMPLOS .....	56
6.1.6.1 FÉLIX CANDELA .....	56
6.1.6.2 EDUARDO TORROJA .....	57
6.2 ESTRUCTURAS MACIZAS .....	58
6.2.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN .....	58
6.2.2 RESISTENCIA MECÁNICA .....	59
6.2.3 HORMIGÓN ARMADO .....	59
6.2.4 ADAPTABILIDAD .....	59
6.2.5 EJEMPLOS .....	60
6.2.5.1 ANTÓN GARCÍA ABRIL .....	60
6.2.5.2 JUNYA ISHIGAMI .....	62
6.2.6 DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA MACIZA PARA NUESTRO PROYECTO .....	63

7. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DEL ANÁLISIS DE LAS DOS TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES .....	64
8. ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA LIGERA .....	65
9. PROPUESTA ESTRUCTURA PESADA 1 .....	72
10. PROPUESTA ESTRUCTURA PESADA 2 .....	79
11. PROPUESTA FINAL .....	87
11.1 PROPIEDADES .....	89
11.2 UBICACIÓN .....	90
11.3 ACCESO .....	91
11.4 PRIMER ACERCAMIENTO .....	91
11.5 PROCESO CONSTRUCTIVO .....	92
11.6 MAQUETA .....	94
11.7 PROGRAMA .....	107
12. ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	122
12.1 PROCEDIMIENTO-GRASSHOPPER .....	122
12.2 CARGAS .....	124
12.2.1 VIENTO .....	124
12.2.1 PESO PROPIO .....	126
12.3 RESULTADOS .....	127
12.3.1 ESTRUCTURA LIGERA 1 .....	127
12.3.1.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	127
12.3.1.2 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS .....	128
12.3.1.3 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN .....	129
12.3.1.4 LÍNEAS ISOSTÁTICAS .....	130
12.3.2 ESTRUCTURA MACIZA 1 .....	131
12.3.2.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	131
12.3.2.2 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS .....	132
12.3.2.3 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN .....	134
12.3.2.4 LÍNEAS ISOSTÁTICAS .....	134
12.3.3 ESTRUCTURA MACIZA 2 .....	136
12.3.3.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	136
12.3.3.2 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS .....	137
12.3.3.3 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN .....	138
12.3.3.4 LÍNEAS ISOSTÁTICAS .....	138
12.3.4 ESTRUCTURA FINAL .....	140
12.3.4.1 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS .....	140
12.3.4.2 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN .....	141
12.3.4.3 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (VON MISES) .....	143

12.3.4.4	DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (TENSIONES NORMALES)	144
12.3.4.5	DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (TENSIONES TANGENCIALES)	146
12.3.4.6	APROVECHAMIENTO	148
12.3.4.7	LÍNEAS ISOSTÁTICAS	150
13.	CONCLUSIONES	153
14.	BIBLIOGRAFÍA	155
14.1	BIBLIOGRAFÍA	155
14.2	BIBLIOGRAFÍA DE IMÁGENES	158

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Escalada clásica .....	24
Figura 2. Escalada deportiva .....	24
Figura 3. Escalada en bloque .....	24
Figura 4. Escalada libre .....	24
Figura 5. Psicobloc .....	25
Figura 6. Escalada en hielo .....	25
Figura 7. Escalada urbana .....	25
Figura 8. Escalada artificial .....	25
Figura 9. Escalada en solitario .....	25
Figura 10. Escalada de velocidad (artificial) .....	26
Figura 11. Escalada deportiva (artificial) .....	26
Figura 12. Boulder (artificial) .....	26
Figura 13. Escalada en hielo (artificial) .....	26
Figura 14. Dificultad .....	27
Figura 15. Material, asegurador .....	28
Figura 16. Material, fisureros .....	28
Figura 17. Material, cintas exprés .....	28
Figura 18. Material, chapa .....	28
Figura 19. Material, pie de gato .....	28
Figura 20. Material, friends .....	29
Figura 21. Material, arnés .....	29
Figura 22. Material, casco .....	29
Figura 23. Material, línea de vida .....	29
Figura 24. Presas y agarres, regleta .....	30
Figura 25. Presas y agarres, agujeros .....	31
Figura 26. Presas y agarres, cazo .....	31
Figura 27. Presas y agarres, pinza .....	31
Figura 28. Presas y agarres, romo .....	31
Figura 29. Presas y agarres, chorrera .....	32
Figura 30. Presas y agarres, invertido .....	32
Figura 31. Presas y agarres, agarre lateral .....	32
Figura 32. Movimientos, mantel .....	33
Figura 33. Movimientos, rana .....	34
Figura 34. Movimientos, bicicleta .....	34
Figura 35. Movimientos, empotramientos .....	34



Figura 36. Movimientos, oposición .....	34
Figura 37. Movimientos, bandera .....	35
Figura 38. Movimientos, montarse sobre el pie .....	35
Figura 39. Referencias, Cubierta para el Parque Arqueológico de El Molinete .....	36
Figura 40. Referencias, Hotelfachschule in Montpellier .....	36
Figura 41. Referencias, Espace Culturel de La Hague .....	37
Figura 42. Referencias, Recinto Ferial de Cuenca .....	37
Figura 43. Referencias, Perturbación Hexagonal de vidrio .....	37
Figura 44. Referencias, Festival of Love .....	37
Figura 45. Referencias, Túnel de color unidireccional .....	37
Figura 46. Referencias, Pabellón Flora .....	38
Figura 47. Referencias, Cúpula Museo Dalí .....	38
Figura 48. Referencias, Estructura nómada habitable para la Feria de Arte de París .....	38
Figura 49. Referencias, Serpentine Gallery Pavilion .....	39
Figura 50. Referencias, Restaurante el Centro .....	39
Figura 51. Referencias, Restaurante el Centro .....	39
Figura 52. Referencias, Pabellón Pillars of Dreams .....	40
Figura 53. Referencias, Pabellón Pillars of Dreams .....	40
Figura 54. Referencias, Pabellón Pillars of Dreams .....	40
Figura 55. Referencias, Pabellón Pillars of Dreams .....	40
Figura 56. Referencias, House & Restaurant .....	41
Figura 57. Referencias, House & Restaurant .....	41
Figura 58. Referencias, House & Restaurant .....	41
Figura 59. Referencias, House & Restaurant .....	41
Figura 60. Referencias, Planta de Tratamiento Amager .....	42
Figura 61. Referencias, Rock Gym .....	42
Figura 62. Referencias, kletterhalle Bruneck .....	42
Figura 63. Referencias, Propuesta Siloo 0 .....	42
Figura 64. Referencias, Siloo 0 .....	43
Figura 65. Referencias, Climb So iLL .....	43
Figura 66. Referencias, Sharma Climbing .....	43
Figura 67. Experiencia personal .....	47
Figura 68. Experiencia personal .....	47
Figura 69. Experiencia personal .....	47
Figura 70. Experiencia personal .....	47
Figura 71. Experiencia personal .....	48
Figura 72. Experiencia personal .....	48

Figura 73. Experiencia personal .....	48
Figura 74. Experiencia personal .....	48
Figura 75. Vías experiencia personal .....	49
Figura 76. Vías experiencia personal .....	49
Figura 77. Vías experiencia personal .....	49
Figura 78. Vías experiencia personal .....	49
Figura 79. Vías experiencia personal .....	50
Figura 80. Vías experiencia personal .....	50
Figura 81. Diagrama .....	53
Figura 82. Estructura resistente por su forma .....	54
Figura 83. Perturbación de flexión en el borde de una cúpula .....	55
Figura 84. Deformación de una cúpula esférica .....	55
Figura 85. Tensiones meridionales en una cúpula esférica .....	55
Figura 86. Restaurante los manantiales .....	56
Figura 87. Planta embotelladora de bacardí .....	56
Figura 88. Iglesia San José Obrero .....	57
Figura 89. Hipódromo de la Zarzuela .....	57
Figura 90. Mercado de Abastos de Algeciras .....	57
Figura 91. Frontón Recoletos .....	57
Figura 92. Cono de Abrams .....	58
Figura 93. Casa Hemeroscopium .....	60
Figura 94. Casa Hemeroscopium .....	60
Figura 95. Casa Hemeroscopium .....	60
Figura 96. Domo .....	61
Figura 97. Domo .....	61
Figura 98. Domo .....	61
Figura 99. Domo .....	61
Figura 100. House & Restaurant .....	62
Figura 101. House & Restaurant .....	62
Figura 102. House & Restaurant .....	62
Figura 103. Modelo estructura ligera .....	67
Figura 104. Modelo estructura ligera .....	67
Figura 105. Modelo estructura ligera .....	67
Figura 106. Modelo estructura ligera .....	67
Figura 107. Modelo estructura ligera .....	68
Figura 108. Modelo estructura ligera .....	68
Figura 109. Modelo estructura ligera .....	68

Figura 110. Modelo estructura ligera .....	68
Figura 111. Modelo estructura ligera .....	69
Figura 112. Modelo estructura ligera .....	69
Figura 113. Modelo estructura ligera .....	69
Figura 114. Modelo estructura ligera .....	69
Figura 115. Fotogrametría estructura ligera .....	70
Figura 116. Fotogrametría estructura ligera .....	70
Figura 117. Fotogrametría estructura ligera .....	70
Figura 118. Fotogrametría estructura ligera .....	70
Figura 119. Fotogrametría estructura ligera .....	70
Figura 120. Fotogrametría estructura ligera .....	71
Figura 121. Fotogrametría estructura ligera .....	71
Figura 122. Fotogrametría estructura ligera .....	71
Figura 123. Fotogrametría estructura ligera .....	71
Figura 124. Fotogrametría estructura ligera .....	71
Figura 125. Digitalización estructura ligera .....	71
Figura 126. Digitalización estructura ligera .....	71
Figura 127. Digitalización estructura ligera .....	71
Figura 128. Digitalización estructura ligera .....	71
Figura 129. Digitalización estructura ligera .....	71
Figura 130. Diagrama estructura pesada 1 .....	73
Figura 131. Proceso estructura pesada 1 .....	74
Figura 132. Proceso estructura pesada 1 .....	74
Figura 133. Proceso estructura pesada 1 .....	74
Figura 134. Estructura pesada 1 .....	74
Figura 135. Estructura pesada 1 .....	75
Figura 136. Estructura pesada 1 .....	75
Figura 137. Estructura pesada 1 .....	75
Figura 138. Estructura pesada 1 .....	75
Figura 139. Estructura pesada 1 .....	76
Figura 140. Estructura pesada 1 .....	76
Figura 141. Estructura pesada 1 .....	76
Figura 142. Estructura pesada 1 .....	76
Figura 143. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	77
Figura 144. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	77
Figura 145. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	77
Figura 146. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	77

Figura 147. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	77
Figura 148. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	78
Figura 149. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	78
Figura 150. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	78
Figura 151. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	78
Figura 152. Fotogrametría estructura pesada 1 .....	78
Figura 153. Digitalización estructura pesada 1 .....	78
Figura 154. Digitalización estructura pesada 1 .....	78
Figura 155. Digitalización estructura pesada 1 .....	78
Figura 156. Digitalización estructura pesada 1 .....	78
Figura 157. Diagrama estructura pesada 2 .....	80
Figura 158. Proceso estructura pesada 2 .....	81
Figura 159. Proceso estructura pesada 2 .....	81
Figura 160. Proceso estructura pesada 2 .....	81
Figura 161. Estructura pesada 2 .....	82
Figura 162. Estructura pesada 2 .....	82
Figura 163. Estructura pesada 2 .....	82
Figura 164. Estructura pesada 2 .....	82
Figura 165. Estructura pesada 2 .....	83
Figura 166. Estructura pesada 2 .....	83
Figura 167. Estructura pesada 2 .....	83
Figura 168. Estructura pesada 2 .....	83
Figura 169. Estructura pesada 2 .....	84
Figura 170. Estructura pesada 2 .....	84
Figura 171. Estructura pesada 2 .....	84
Figura 172. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	84
Figura 173. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	85
Figura 174. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	85
Figura 175. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	85
Figura 176. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	85
Figura 177. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	85
Figura 178. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	86
Figura 179. Fotogrametría estructura pesada 2 .....	86
Figura 180. Digitalización estructura pesada 2 .....	86
Figura 181. Digitalización estructura pesada 2 .....	86
Figura 182. Digitalización estructura pesada 2 .....	86
Figura 183. Digitalización estructura pesada 2 .....	86

Figura 184. Digitalización estructura pesada 2 .....	86
Figura 185. Diagrama propuesta final .....	88
Figura 186. Ubicación propuesta final .....	90
Figura 187. Ubicación propuesta final .....	90
Figura 188. Ubicación propuesta final .....	90
Figura 189. Primer acercamiento propuesta final .....	91
Figura 190. Primer acercamiento propuesta final .....	91
Figura 191. Primer acercamiento propuesta final .....	91
Figura 192. Proceso propuesta final .....	92
Figura 193. Proceso propuesta final .....	92
Figura 194. Proceso propuesta final .....	92
Figura 195. Proceso propuesta final .....	92
Figura 196. Proceso propuesta final .....	92
Figura 197. Proceso propuesta final .....	93
Figura 198. Proceso propuesta final .....	93
Figura 199. Proceso propuesta final .....	93
Figura 200. Proceso propuesta final .....	93
Figura 201. Proceso propuesta final .....	93
Figura 202. Proceso propuesta final .....	93
Figura 203. Proceso propuesta final .....	93
Figura 204. Maqueta final .....	94
Figura 205. Maqueta final .....	94
Figura 206. Maqueta final .....	94
Figura 207. Maqueta final .....	95
Figura 208. Maqueta final .....	95
Figura 209. Maqueta final .....	95
Figura 210. Maqueta final .....	96
Figura 211. Maqueta final .....	96
Figura 212. Maqueta final .....	96
Figura 213. Maqueta final .....	97
Figura 214. Maqueta final .....	97
Figura 215. Maqueta final .....	97
Figura 216. Maqueta final .....	98
Figura 217. Maqueta final .....	98
Figura 218. Maqueta final .....	98
Figura 219. Maqueta final .....	99
Figura 220. Maqueta final .....	99

Figura 221. Maqueta final .....	99
Figura 222. Maqueta final .....	100
Figura 223. Maqueta final .....	100
Figura 224. Maqueta final .....	100
Figura 225. Maqueta final .....	101
Figura 226. Maqueta final .....	101
Figura 227. Maqueta final .....	101
Figura 228. Maqueta final .....	102
Figura 229. Maqueta final .....	102
Figura 230. Fotogrametría maqueta final .....	103
Figura 231. Fotogrametría maqueta final .....	103
Figura 232. Fotogrametría maqueta final .....	103
Figura 233. Fotogrametría maqueta final .....	103
Figura 234. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 235. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 236. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 237. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 238. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 239. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 240. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 241. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 242. Fotogrametría maqueta final .....	104
Figura 243. Fotogrametría maqueta final .....	105
Figura 244. Fotogrametría maqueta final .....	105
Figura 245. Fotogrametría maqueta final .....	105
Figura 246. Fotogrametría maqueta final .....	105
Figura 247. Fotogrametría maqueta final .....	105
Figura 248. Fotogrametría maqueta final .....	105
Figura 249. Digitalización maqueta final .....	106
Figura 250. Digitalización maqueta final .....	106
Figura 251. Digitalización maqueta final .....	106
Figura 252. Digitalización maqueta final .....	106
Figura 253. Digitalización maqueta final .....	106
Figura 254. Digitalización maqueta final .....	106
Figura 255. Sección 1 maqueta final .....	107
Figura 256. Sección 2 maqueta final .....	108
Figura 257. Sección 3 maqueta final .....	109

Figura 258. Sección 4 maqueta final .....	110
Figura 259. Sección 5 maqueta final .....	111
Figura 260. Sección 6 maqueta final .....	112
Figura 261. Sección 7 maqueta final .....	113
Figura 262. Sección 8 maqueta final .....	114
Figura 263. Sección 9 maqueta final .....	115
Figura 264. Sección 10 maqueta final .....	116
Figura 265. Sección 11 maqueta final .....	117
Figura 266. Sección 12 maqueta final .....	118
Figura 267. Sección 13 maqueta final .....	119
Figura 268. Sección 14 maqueta final .....	120
Figura 269. Sección 15 maqueta final .....	121
Figura 270. Procedimiento grasshopper .....	122
Figura 271. Procedimiento grasshopper .....	122
Figura 272. Procedimiento grasshopper .....	122
Figura 273. Procedimiento grasshopper .....	123
Figura 274. Procedimiento grasshopper .....	123
Figura 275. Procedimiento grasshopper .....	123
Figura 276. Procedimiento grasshopper .....	123
Figura 277. Procedimiento grasshopper .....	123
Figura 278. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	127
Figura 279. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	127
Figura 280. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	127
Figura 281. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	127
Figura 282. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	128
Figura 283. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	128
Figura 284. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera .....	128
Figura 285. Diagramas desplazamientos, estructura ligera .....	128
Figura 286. Diagramas desplazamientos, estructura ligera .....	128
Figura 287. Diagramas desplazamientos, estructura ligera .....	128
Figura 288. Diagramas desplazamientos, estructura ligera .....	128
Figura 289. Diagramas desplazamientos, estructura ligera .....	129
Figura 290. Diagramas de deformación, estructura ligera .....	129
Figura 291. Diagramas de deformación, estructura ligera .....	129
Figura 292. Diagramas de deformación, estructura ligera .....	129
Figura 293. Diagramas de deformación, estructura ligera .....	129
Figura 294. Líneas isostáticas, estructura ligera .....	130

Figura 295. Líneas isostáticas, estructura ligera .....	130
Figura 296. Líneas isostáticas, estructura ligera .....	130
Figura 297. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 .....	131
Figura 298. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 .....	131
Figura 299. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 .....	131
Figura 300. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 .....	132
Figura 301. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 .....	132
Figura 302. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 .....	132
Figura 303. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 1 .....	132
Figura 304. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 1 .....	132
Figura 305. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 1 .....	133
Figura 306. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 1 .....	133
Figura 307. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 1 .....	133
Figura 308. Diagramas desplazamientos, estructura pesada .....	133
Figura 309. Diagramas de deformación, estructura pesada 1 .....	134
Figura 310. Diagramas de deformación, estructura pesada 1 .....	134
Figura 311. Líneas isostáticas, estructura pesada 1 .....	134
Figura 312. Líneas isostáticas, estructura pesada 1 .....	134
Figura 313. Líneas isostáticas, estructura pesada 1 .....	134
Figura 314. Líneas isostáticas, estructura pesada 1 .....	134
Figura 315. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 2 .....	136
Figura 316. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 2 .....	136
Figura 317. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 2 .....	136
Figura 318. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 2 .....	136
Figura 319. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 2 .....	136
Figura 320. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 2 .....	136
Figura 321. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 2 .....	137
Figura 322. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 2 .....	137
Figura 323. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 2 .....	137
Figura 324. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 2 .....	137
Figura 325. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 2 .....	137
Figura 326. Diagramas desplazamientos, estructura pesada 2 .....	137
Figura 327. Diagramas de deformación, estructura pesada 2 .....	138
Figura 328. Diagramas de deformación, estructura pesada 2 .....	138
Figura 329. Líneas isostáticas, estructura pesada 2 .....	138
Figura 330. Líneas isostáticas, estructura pesada 2 .....	138
Figura 331. Líneas isostáticas, estructura pesada 2 .....	138



Figura 332. Líneas isostáticas, estructura pesada 2 .....	138
Figura 333. Líneas isostáticas, estructura pesada 2 .....	139
Figura 334. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	140
Figura 335. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	140
Figura 336. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	140
Figura 337. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	140
Figura 338. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	141
Figura 339. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	141
Figura 340. Diagramas desplazamientos, estructura final .....	141
Figura 341. Diagramas de deformación, estructura final .....	141
Figura 342. Diagramas de deformación, estructura final .....	141
Figura 343. Diagramas de deformación, estructura final .....	142
Figura 344. Diagramas de deformación, estructura final .....	142
Figura 345. Diagramas de deformación, estructura final .....	142
Figura 346. Diagramas de esfuerzos, estructura final .....	143
Figura 347. Diagramas de esfuerzos, estructura final .....	143
Figura 348. Diagramas de esfuerzos, estructura final .....	143
Figura 349. Diagramas de esfuerzos, estructura final .....	143
Figura 350. Diagramas de esfuerzos, estructura final .....	144
Figura 351. Diagramas de esfuerzos, estructura final .....	144
Figura 352. Diagramas de esfuerzos, tensiones normales, estructura final .....	144
Figura 353. Diagramas de esfuerzos, tensiones normales, estructura final .....	145
Figura 354. Diagramas de esfuerzos, tensiones normales, estructura final .....	145
Figura 355. Diagramas de esfuerzos, tensiones normales, estructura final .....	145
Figura 356. Diagramas de esfuerzos, tensiones normales, estructura final .....	145
Figura 357. Diagramas de esfuerzos, tensiones normales, estructura final .....	146
Figura 358. Diagramas de esfuerzos, tensiones tangenciales, estructura final .....	146
Figura 359. Diagramas de esfuerzos, tensiones tangenciales, estructura final .....	146
Figura 360. Diagramas de esfuerzos, tensiones tangenciales, estructura final .....	147
Figura 361. Diagramas de esfuerzos, tensiones tangenciales, estructura final .....	147
Figura 362. Diagramas de esfuerzos, tensiones tangenciales, estructura final .....	147
Figura 363. Diagramas de esfuerzos, tensiones tangenciales, estructura final .....	147
Figura 364. Aprovechamiento, estructura final .....	148
Figura 365. Aprovechamiento, estructura final .....	148
Figura 366. Aprovechamiento, estructura final .....	148
Figura 367. Aprovechamiento, estructura final .....	149
Figura 368. Aprovechamiento, estructura final .....	149

Figura 369. Aprovechamiento, estructura final ..... 149

Figura 370. Aprovechamiento, estructura final ..... 149

Figura 371. Líneas isostáticas, estructura final .....150

Figura 372. Líneas isostáticas, estructura final .....150

Figura 373. Líneas isostáticas, estructura final .....150

Figura 374. Líneas isostáticas, estructura final .....150



## 1. INTRODUCCIÓN A LA ESCALADA

Primeramente, explicaremos una breve historia sobre su evolución, en qué se basa este deporte, las diferentes modalidades y disciplinas, la dificultad y el material necesario.

Esta actividad es una disciplina deportiva la cual consiste en subir o recorrer paredes, suelen ser laderas escarpadas, relieves naturales o artificiales, valiéndose solo de las capacidades físicas del escalador. Es considerado un deporte de riesgo debido a las grandes alturas que se suelen alcanzar y al estado del material que se use.

### 1.1 HISTORIA

La escalada ha sufrido una gran evolución desde que comenzó a realizarse por los primeros seres humanos. Estos cambios aparecieron gracias a los primeros científicos en el siglo XVIII, a causa de la necesidad de investigación y de ascender por primera vez a las montañas, donde para ello debían escalar grandes paredes. Es a partir de aquí, cuando se comenzó a indagar para ascender paredes inaccesibles.

Primero se realizaban estas ascensiones sin ningún elemento de seguridad y, progresivamente, fue evolucionando hasta que en el año 1980 se produjo un auge, pasando a ser conocida como la época de oro de este deporte. Es en este momento en el que se comenzaron a utilizar los elementos de seguridad para realizar las ascensiones. Este aumento de popularidad dio lugar a la aparición de rocódromos, con el objetivo de buscar un lugar en el cual entrenar de manera específica.

Es a partir de aquí cuando el deporte entró en el mundo competitivo pero con un número muy reducido de participantes. Estos sucesos provocaron que la escalada evolucionara a un aspecto mucho más recreativo y competitivo, provocando que en los últimos años se produjera un aumento significativo de los rocódromos o salas de Boulder.

## 1.2 ¿CÓMO ESCALAR UNA PARED?

Primero de todo creo se debe entender cómo es el funcionamiento del deporte a la hora de escalar en la montaña, ya que de esto depende nuestra seguridad. Y más adelante explicaremos los diferentes materiales, movimientos, dificultades y estilos de escalada.

Antes de empezar, me gustaría resaltar que si eres nuevo en el deporte aprendas con profesionales.

La especialidad que vamos a desarrollar es la escalada deportiva en la cual estará basado el proyecto. No se practica en solitario, por lo que necesitaremos a un compañero el cual nos asegure. La persona que vaya a escalar deberá tener la cuerda pasada por los huecos del arnés, concretamente con el nudo del ocho, ya que es de los más resistentes y fáciles de realizar. El asegurador deberá pasar la cuerda por el grigri (figura 15), como bien se indica en la imagen. Una vez comprobado que todo esté bien hecho, el escalador procederá a subir la vía. A la vez que irá subiendo se irá encontrando chapas ancladas a la roca (figura 18), donde él enganchará una cinta exprés (figura 17) por cada chapa, por esta cinta se pasará la cuerda del escalador, por lo que si este cayera dispondría de diferentes puntos de anclaje. Se realiza este último paso hasta llegar al final de la vía, una vez llegado al final, encontraremos mosquetones y argollas por los cuales pasaremos, tomando todas las medidas de precaución, la cuerda.

En el caso de que otra persona quisiera probar la vía con la cuerda ya pasada por el anclaje final (Apartado 1.4 escalada de segunda), simplemente descenderemos, y en el caso de que nadie más vaya a subir o quiera hacer la vía a vista (Apartado 1.4 escalada a vista), iremos descendiendo retirando las cintas de las chapas.

## 1.3 MODALIDADES

### 1.3.1 ESCALADA EN ROCA



#### 1 Escalada clásica

Esta modalidad es la más antigua, donde en las paredes no se encuentran seguros, sino que, son los escaladores quienes tienen que colocar su material para la ascensión, y luego retirarlo. Esta es considerada de las más respetuosas con el medio, ya que no se agujerea la roca para poder colocar seguros, lo que conlleva a una escalada de mayor riesgo.

Se da a cabo en vías largas, por lo que es el primer escalador quien coloca los seguros y más tarde, el segundo los retirará, siendo asegurado por el primer escalador desde arriba.

#### 2 Escalada deportiva

En esta disciplina destaca su sistema de seguridad, ya que encontramos anclajes fijados (figura 18) en la pared mediante sistemas mecánicos. Estos anclajes, también conocidos como chapas, sirven para asegurar al escalador en caso de caída, mucho más seguros que los seguros colocados por el escalador en la escalada clásica.

#### 3 Escalada en bloque

También conocida como boulder, debido a la poca altura de las rocas, no se utiliza material, únicamente el crash pad, un colchón bastante duro, para amortiguar la caída.

#### 4 Escalada libre

Se define como la disciplina más peligrosa, ya que se lleva a cabo con la ausencia del material, solamente con los pies de gato, lo que en caso de caída, sería una caída mortal.

## 5 Psicobloc

Se podría denominar como una modalidad del boulder, la única diferencia es que este se realiza sobre el agua, la cual amortizará su caída, por lo que se suelen alcanzar grandes alturas.

## 6 Escalada en hielo

Se utilizan las mismas técnica que en la escala clásica, pero se utilizan materiales aptos para el hielo o nieve, como es el caso de piolets y crampones. También encontramos la escala mixta, donde hay tramos de roca y tramos de hielo.

## 7 Escalada urbana

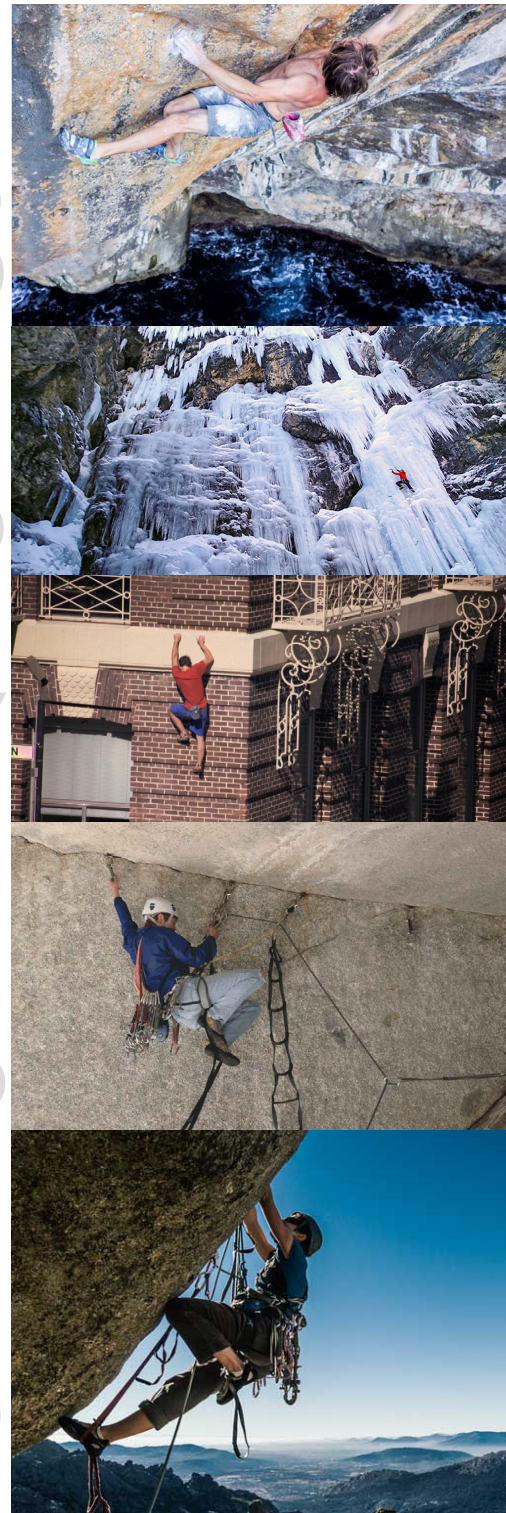
Se da lugar en grandes edificios, suele ser en solitario, pero en muchos países esta disciplina es ilegal.

## 8 Escalada artificial

Esta modalidad sucede cuando los recursos naturales no son suficientes para ascender la pared. Es decir, se colocan chapas a muy poca distancia, y con la ayuda de unas pequeñas escaleras se consigue ascender. Es un estilo lento, donde se necesita un gran conocimiento de la técnica para llevarlo a cabo.

## 9 Escalada en solitario

En este tipo de escalada nos desprendemos de nuestro compañero y con las técnicas de autoasegurado procedemos a alcanzar nuestro objetivo.





## 1.3.2 ESCALADA ARTIFICIAL



### 10 Escalada de velocidad

Su principal objetivo es llegar arriba de la vía en el mínimo tiempo, los escaladores van asegurados desde arriba, por lo que se convierte en una práctica muy segura. La misma vía es replicada, para así conocerla y conseguir un menor tiempo a la hora de realizarla.

### 11 Escalada deportiva

Esta se compone por las mismas características que la realizada en roca, la única diferencia es que se compone por una estructura artificial.

### 12 Boulder

Al igual que en el caso anterior se compone por las mismas características que la realizada en roca, la única diferencia es que se compone por una estructura artificial.

### B Escalada en hielo (en rocódromo)

También conocido como el dry tooling, tiene las mismas características que el realizado en roca, pero se realiza en un muro artificial, es decir, no se escala una cascada de hielo, permitiéndose así buscar una máxima dificultad en los movimientos realizados, sin exponerse a un grado de riesgo.

Estas últimas cuatro modalidades entran dentro del formato de competición, ya que estas suelen llevarse a cabo en estructuras artificiales, y no en naturales. Donde encontramos tres modalidades: dificultad, velocidad y bloque, en las tres se mide el tiempo ejecutado y la máxima altura.



## 1.4 DIFICULTAD

En cuanto a la graduación de dificultad, encontramos dos formas de designarlas, la francesa y la estadounidense. Nos centramos en la francesa ya que es la utilizada en España, aunque existen tablas comparativas entre estas dos graduaciones (figura 14).

En cada grado la dificultad de la vía sube, esta es marcada por la inclinación de las paredes, el tamaño y la forma de los agarres, y la distancia que puede haber entre ellos. Por tanto, una vía 5+ sería de las más fáciles de realizar, aumentando su dificultad progresivamente.

Por otro lado, a la hora de escalar encontramos varias maneras de hacerlo:

### - Escalada a vista

El escalador no tiene ningún conocimiento sobre la vía, no conoce los agarres ni los movimientos necesarios, es decir, no tiene una preparación. Es él mismo quien coloca las cintas y pasa la cuerda por ella, por lo que en el caso de caída puede ser peligroso.

### - Flash

Antes de que el escalador realice la vía, este puede observar a otra persona hacerla.

### - Escalada trabajada

Donde el escalador practica las veces que necesite una vía para conocer los movimientos y controlarla.

### -Escalada de segunda

La cuerda ya está pasada por las cintas por lo que no hay peligro a la hora de caerse.

### -Escalada de primera

A diferencia del caso anterior, colocas tú mismo la cuerda por las cintas, por lo que al igual que en la escalada a vista, puede ser peligroso en el caso de caída. Lo que se le diferencia de los dos primeros pasos, es que puedes obtener información de la vía.

Francés	Americano
V+	5.9
6a	5.10a
6a+	5.10b
6b	5.10c
6b+	5.10d
6c	5.11a
6c/+	5.11b
6c+	5.11c
7a	5.11d
7a+	5.12a
7b	5.12b
7b+	5.12c
7c	5.12d
7c+	5.13a
8a	5.13b
8a+	5.13c
8b	5.13d
8b+	5.14a
8c	5.14b
8c+	5.14c
9a	5.14d
9a+	5.15a
9b	5.15b
9b+	5.15c
9c	5.15d

## 1.5 MATERIALES



15



16



17



18



19

Otro punto importante es el material que se necesita. Nombraremos el material necesario para la escalada deportiva y la escalada clásica, ya que son las más frecuentes. Para ambas modalidades es necesario un arnés, pies de gato, casco, un asegurador (el cual se bloquea en caso de caída), cuerda, mosquetones y una línea de vida, la cual sirve como anclaje. Referente a la escalada deportiva se necesitarán cintas exprés (la cual irá enganchada por un lado, a la chapa, y por el otro a la cuerda). En cuanto a la escalada clásica, utilizaremos friends y fisureros, los cuales el escalador deberá colocarlos en las fisuras de la roca.

15	Asegurador (grigri)
16	Fisureros
17	Cintas exprés
18	Chapa
19	Pies de gato
20	Friends
21	Arnés
22	Casco
23	Línea de vida



## 1.6 PRESAS Y AGARRES

Para la introducción de este subapartado definiremos primero qué son las presas, estas son piezas de diferentes formas, tamaños y materiales, como puede ser el poliuretano o la fibra de vidrio, son puntos donde los escaladores se agarran o se apoyan, ofreciendo así una gran diversidad de movimientos a realizar. Explicaremos los diferentes tipos de agarres, y para ellos los diferentes tipos de presas. Todas estas son transferibles a los agarres naturales que encontraremos en la roca.

### 2+ Presa tipo regleta

Estos agarres tienen que tener una parte plana, de unos 3 cm como máximo. La parte plana puede estar horizontal o inclinada, para así incrementar la dificultad. Existen varias formas de coger estas presas:

- En extensión: este será el agarre al cual le aplicaremos menos fuerza. Se usa cuando la presa está por encima del hombro o cuando no tenemos que aplicar mucha presión. Los dedos están extendidos como su nombre indica.

- En arqueo: en estas presas, arqueamos los dedos en un ángulo de 80º-90º, menos el pulgar. Esta forma de agarre se utilizará cuando haya un incremento de fuerza, pudiendo realizar pasos más exigentes.

- En cerrojo: apoyaremos las yemas de los dedos en la presa y con el dedo pulgar cerramos el agarre, es decir, este irá apoyado sobre el dedo índice. En este agarre es con el que más fuerza se utiliza, por lo que se utilizará para pasos exigentes, pero a la vez, es el más lesivo de todos.



### 25 Presa tipo agujeros

Estas son de pequeño tamaño y poca profundidad, se suelen coger con un dedo (monodedo), dos (bidedo), o incluso tres (tridedo). La dificultad de estas depende de la profundidad y de la anchura del agujero, por lo que suelen ser bastante lesivas.

25



### 26 Presa tipo cazo

Estas son las presas más fáciles, ya que es un agarre muy básico y cómodo que permite poder reposar los brazos. En él cabrá nuestra mano entera e incluso ambas manos. Por lo que transmite seguridad y confianza.

26



### 27 Presa tipo pinza

Estas presas se cogen con el dedo pulgar en una parte y el resto de los dedos irán en la otra parte, haciendo como su nombre indica, una pinza. Cuanto menos distancia haya entre el dedo pulgar y los otros dedos más difícil será este agarre.

27



### 28 Presa tipo romo

Son presas de grandes dimensiones y de forma redondeada, no tiene parte donde poder introducir los dedos, por lo que nos sujetaremos a ella con la fricción y la adherencia creada entre nuestra mano y el material.

28





29



30

## 2 Presa tipo chorrera

Este es muy parecido a la presa tipo pinza, la única diferencia es que son presas largas, dispuestas de manera vertical. Estas las encontramos en el medio natural, creadas por la caída del agua.

## 3 Presas de agarre invertido

Estas son cualquier tipo de presas, pero se encuentran de forma invertida, para poder mantenernos en estas presas nuestro cuerpo deberá estar pegado a la pared.

## 3 Presas de agarre lateral

Estas son las mismas presas que las de tipo cazo, pero el agarre se encuentra ubicado de manera vertical.



31



Primero definimos unos movimientos los cuales son difíciles de mostrar con imágenes:

#### **Movimiento dinámico**

Son movimientos creados por el impulso del cuerpo, se aprovecha la inercia creada para poder llegar al siguiente agarre.

#### **Movimiento estático**

Es todo lo contrario a un movimiento dinámico, el gasto de energía es mayor dado que la progresión requiere un bloqueo constante.

#### **Lance**

Este es un movimiento creado a raíz de un movimiento dinámico, pero a diferencia de este, se suele dar un salto para llegar a la siguiente presa. Por lo que suelen ser movimientos más largos y peligrosos.

#### **Bloquear**

Consiste en ejercer la máxima fuerza posible con el brazo flexionado para así poder alcanzar otro agarre con la otra mano.

#### **Pie-mano**

Es un movimiento que consta de la colocación del pie donde antes se ha colocado la mano.

#### **3 Mantel**

Este movimiento se utiliza para subirse a una repisa, hay dos formas posibles, un claro ejemplo es como si salieses de una piscina, y el otro, tienes que subir la pierna a la repisa y montarte sobre esta pierna, una vez conseguido esto, hay que voltear la mano para poder realizar el movimiento **completo**.





33



34



35



36

### 33 Rana

Consiste en la colocación del cuerpo pegado a la pared con las piernas flexionadas y las rodillas hacia fuera.

### 34 Bicicleta

Este movimiento es de los más realizados, y a la vez conocidos, es utilizado para llegar a presas las cuales normalmente no llegaríamos. Consiste en pisar un canto y a continuación flexionar la pierna llevando la rodilla hacia el interior.

### 35 Empotramientos

Se usa para quedarse totalmente agarrados a la roca o a la presa, consiguiendo una total relajación del cuerpo. Se coloca el pie en un agarra y colocamos la rodilla en un lugar donde de pie al empotramiento, levanta el talón para que este se haga más efectivo.

### 36 Movimientos en oposición

En este movimiento se ejerce la fuerza hacia fuera, se utiliza para escalar chimeneas.



37



38



### 37 Bandera

Se utiliza para mantener el equilibrio y evitar hacer puer-  
tas, es decir, que los pies se separen de la pared. Consis-  
te en estirar una pierna hacia atrás pasándola por debajo  
de la otra.

### 38 Montarse sobre el pie

Es parecido al mantel, colocaremos el pie, concretamente  
el talón, en un sitio alto y nos impulsaremos para montar-  
nos sobre este y alcanzar la siguiente presa.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto será la creación de un rocódromo a partir de la experiencia, tanto personal como la conseguida con la producción de diferentes modelos, y de tipologías estructurales contrarias. Por tanto, se estudiarán dos tipos, las estructuras aligeradas, las cuales son utilizadas actualmente para la creación de rocódromos, y las estructuras macizas, haciendo hincapié en estas últimas. Estudiando así la relación entre ambas, conociendo cómo trabajan, cómo se relacionan y cómo se contraponen. Creando un nuevo tipo de rocódromo con una tipología estructural opuesta al sistema actual.

Además, nos ayudaremos de las diferentes referencias, destacando la Vivienda & Restaurante de Junya Ishigami. También se demostrará la experiencia adquirida como escaladora en los diferentes modelos realizados.

## 3. REFERENCIAS

### 3.1 REFERENCIAS OBRAS



Cubierta para el Parque Arqueológico de El Molinete / Amann-Cánovas-Maruri

39



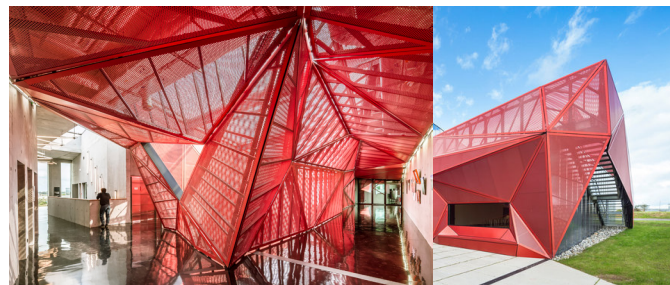
Hotelfachschule in Montpellier / Parametrisches Kaleidoskop

40



Espace Culturel de La Hague

41



Recinto Ferial de Cuenca / Moneo Brock

42



Perturbación Hexagonal de vidrio / Christian Eckart

43



Festival of Love / Softlab

44



Túnel de color unidireccional / Olafur Eliasson

45





Pabellón Flora / Escuela de Diseño de la Universidad de las  
Artes de Nanjing

46



Cúpula Museo Dalí

47

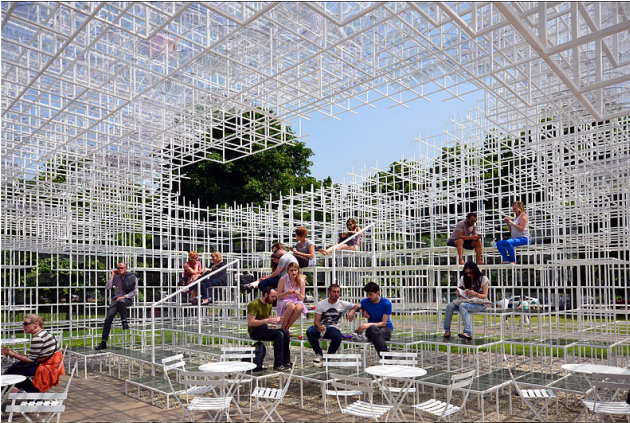


Estructura nómada habitable para la Feria de Arte de París /  
Sou Fujimoto

48



Serpentine Gallery Pavilion / Sou Fujimoto



Restaurante el Centro / Barranco de Guayadeque, Gran Canaria



PÁG 40



Pabellón Pillars of Dreams / Marc Fornes

52

53

54

55



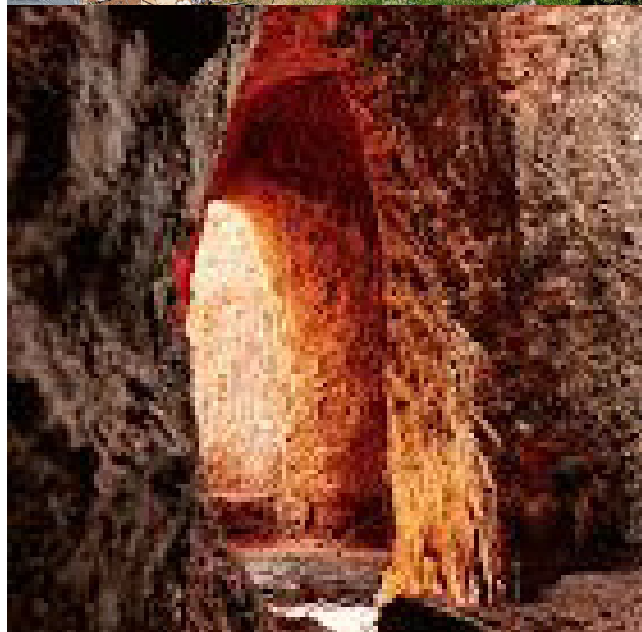
House & Restaurant / Junya Ishigami

PÁG 41

56



57



58



59



PÁG 42

### 3.2 REFERENCIAS ROCÓDROMOS



Planta de Tratamiento Amager / BIG

60



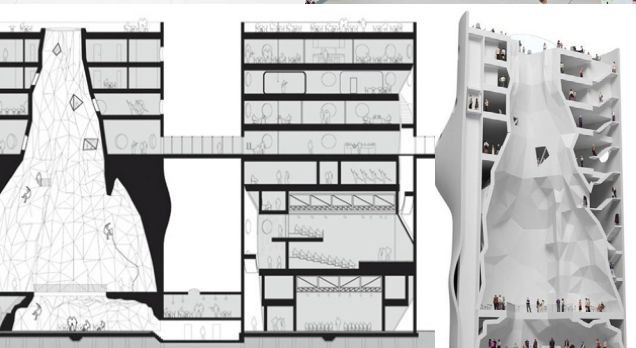
Rock Gym / New Wave Architecture

61



kletterhalle Bruneck

62



Propuesta Silo Competition / NL Architects

63



Siloo 0 / NL Architects

Climb So iLL, Saint Louis

Sharma Climbing, Madrid





Para llevar a cabo nuestro proyecto, planteamos diferentes pasos a desarrollar, para así poder conseguir nuestro objetivo, pero primeramente haremos una pequeña reseña de nuestra experiencia en el mundo de la escalada, y de como esta está relacionada con los diferentes modelos propuestos. Una vez explicada nuestra experiencia personal seguiremos los siguientes pasos:

#### -Análisis

Dado que en el proyecto se empieza a trabajar mediante estructuras ligeras, siendo esta nuestra primera referencia, donde posteriormente empezaremos a trabajar con el negativo de estas, es decir, con las estructuras macizas. Para ello, empezaremos explicando ambas estructuras, sus características, y cómo se complementan. Haciendo finalmente un breve resumen de sus características.

#### -Estudio de la estructura ligera

Una vez estudiado el funcionamiento de las estructuras ligeras, hacemos incapié en la obra elegida, explicandola y destacando sus características. Explicamos como adquirimos con el programa Agisoff el modelado 3D de la maqueta realizada, para posteriormente, y con la ayuda del plug-in Karamba, obtener el funcionamiento de determinada estructura.

#### -Proyecto

A raíz del breve estudio de las estructuras macizas y ligeras, empezaremos con la creación de diferentes modelos, para más adelante conocer mejor su funcionamiento. Estos destacarán por diferentes componentes explicados con la ayuda de los diagramas.

-Ejecución del proyecto

Una vez obtenidos los diferentes modelos, empezamos con la creación del modelo final, explicando así el porqué de su forma determinada, sus características y el proceso de construcción, tanto en la realidad, como de una forma ficticia para la creación del modelo.

-Una vez obtenido el proyecto realizaremos las diferentes comprobaciones a nivel de análisis estructural, tanto de los modelos anteriores como de la maqueta final.

-Finalmente explicaremos las conclusiones, exponiendo las dificultades encontradas y las diferentes discusiones.

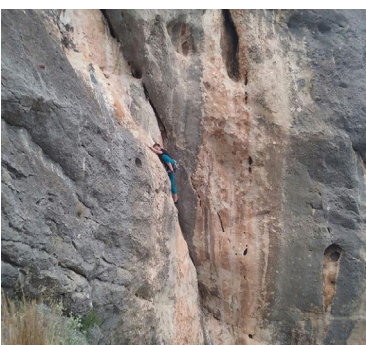
## 5 EXPERIENCIA PERSONAL

Como persona deportista que he sido a lo largo de toda mi vida, he ido practicando diferentes disciplinas, y en el que me he centrado los últimos años ha sido la escalada. Principalmente empecé escalando en roca y por mi propia cuenta. Más adelante me inicié en diferentes modalidades, como son el boulder, psicobloc, y el boulder en rocódromos. Cuando entré en la universidad pasé a formar parte del equipo de escalada, llegando a competir a nivel nacional tanto en cuerda como en boulder.

Dado que es un deporte de riesgo, a lo largo de las diferentes vías he ido sintiendo diferentes emociones, desde la alegría y la euforia hasta el rechazo y el miedo. Por lo que me atrevo a decir que la mente tiene un papel fundamental en este deporte, ya no es solo tener cierta forma física para poder ascender, sino entender los peligros y tomar las precauciones adecuadas para no tener ningún accidente.







71



72



73



74

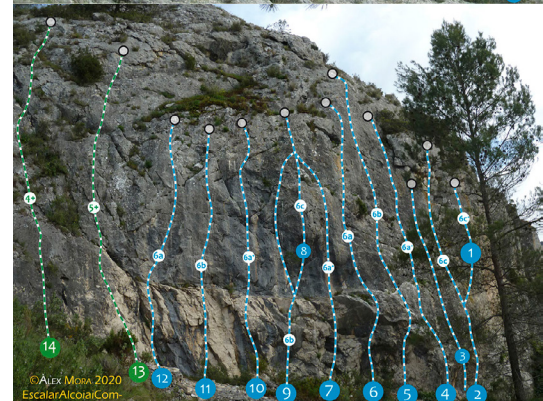
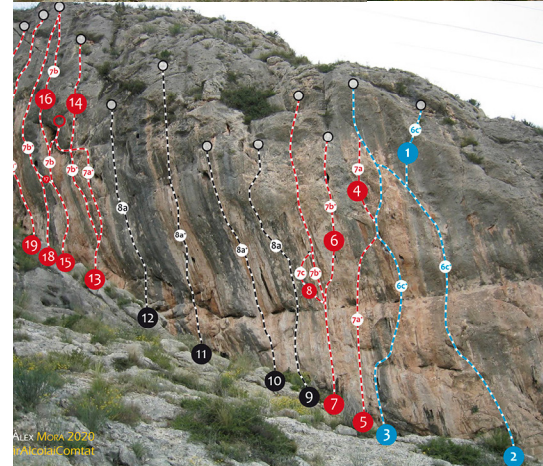
Es un deporte que enlaza mente y cuerpo, en el que estás directamente en contacto con la naturaleza, con la roca, el sol... Donde buscas el equilibrio en cada movimiento para no malgastar fuerzas, luchando en cada momento por el miedo y lo desconocido. Donde en cada movimiento te enfrentas al fracaso y a la caída al vacío. Pero a su vez, eres capaz de ver tus progresos y mejorar en el día a día, te muestra esos pasos que antes no eras capaz de realizar, pero que finalmente has logrado dominar.

También, nuestra percepción cambia completamente cuando escalamos de primera, a cuando lo hacemos de segunda, realizando movimientos que no haríamos en el primer caso por miedo a caer, por lo que hay un largo trayecto de evolución para poder escalar libremente de primera.

Por otro lado, voy a mostrar los diferentes sitios donde suelo escalar, dado que nuestro proyecto está pensado para escalar con cuerda, todos los sectores mostrados están destinados a este tipo de escalada. Algunos de ellos tienen fácil acceso, y otros en cambio, accedes a ellos por diferentes caminos empinados.

En todas ellas la roca tiene buena consistencia, y buena adherencia, por lo que los pies de gato se van a sostener bien.

Casi todas las vías no exceden de los 15m, y se pueden realizar con menos de 10 cintas exprés. Dado que tiene que haber una persona debajo de la vía para poder asegurarte, algunas de ellas tienen la salida complicada, por lo que es muy incómodo para el asegurador.







En todos ellos hay una gran variedad de grados, por lo que tanto principiantes como gente con un nivel más avanzado son capaces de poder escalar. Pero aquellos cuyos niveles son relativamente altos no tienen vías para escalar.

Algunos de ellos tienen las chapas viejas, es un material que hay que ir cuidando y cambiando a lo largo de los años. Y la distancia entre estas suele ser bastante alejada, dando lugar a grandes caídas. En muchos de ellos hay diferentes salientes, los cuales pueden ser un peligro para la gente inexperta.



## 5.1 ¿PODRÍA EXISTIR MI VÍA Y SITIO PERFECTO PARA ESCALAR?

Como ya he mencionado anteriormente la escalada tiene un contacto cercano con la naturaleza. Por esta razón mi sector ideal debería tener un acceso cercano al cual llegues mediante una pequeña caminata, potenciando así esta conexión humano-naturaleza. Pero por otro lado, me gustaría que se pudiera acceder con vehículo, ya que el conjunto de todo el material ocupa y pesa bastante. Este pequeño trayecto, al igual que todo el sector, debería estar repleto de diferentes especies vegetales, haciendo del espacio una zona acogedora y confortable, proporcionando zonas de sombra para poder escalar en épocas de temperaturas elevadas.

Además, la escalada ha pasado a ser un deporte olímpico, por tanto, poco a poco se está dando a conocer aún más, haciendo que todos estos espacios se masifiquen sin control alguno. Todo el mundo debería ser consciente de sus pertenencias y dejar el espacio limpio.

Hablando de las características de la roca, no tengo preferencias sobre el tipo, la única propiedad es que no tienda a romperse ya que puede ser peligroso.

En todo el sector deberían haber vías de diferentes dificultades, sin viento, es decir, que no esté en una zona de mucha altura o que esté protegido mediante otras montañas, ya que el viento puede llegar a mover mucho la cuerda. La longitud perfecta para mí son 10-12m, teniendo a pie de vía un lugar amplio y cómodo para poder asegurar. Me gustaría que la mayoría de ellas tuvieran desplome con diferentes tipos de agarres y que no haya mucha distancia entre chapas, es decir, poco aleje.

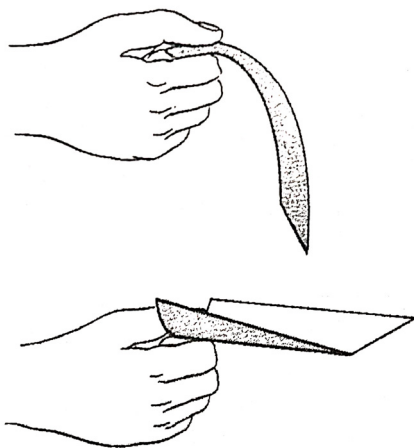
Añadir que exista una reseña del sector es de agradecer, para así conocer las diferentes dificultades, la cantidad de cintas que se necesitan y las características de la vía y de la roca.

La escalada al fin y al cabo, es un deporte en colectivo, las experiencias vividas se comparten con los demás escaladores. Por tanto, he decidido preguntar a diversos escaladores y escaladoras, cómo sería su vía perfecta, su estilo de escalada, y su sector ideal para ir a escalar, colocando sus criterios en distintos colores, para así poder conocer diferentes preferencias y ver cuales de ellas son las más demandadas, para más adelante crear diferentes modelos los cuales esten caracterizados por estas preferencias.



## 6. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

### 6.1 ESTRUCTURAS LIGERAS



82

Como hemos mencionado anteriormente, nuestro proyecto está basado en opuestos, es decir, en las estructuras ligeras y las pesadas, vamos a explicar estas dos tipologías, ayudándonos con varios ejemplos para entenderlas mejor.

Antes que nada, vamos a explicar que una estructura ligera tipo cáscara está constituida por un material de sección delgada, por lo que su capacidad portante se da gracias a su forma, no hay que aumentar la cantidad de material para que sea más resistente, sino darle la forma adecuada (figura 82).

Su pequeño espesor es suficiente para desarrollar tensiones de flexión, pero son suficientemente gruesas para soportar tracciones, compresiones y cortantes. Tienen una gran resistencia mecánica, y su eficacia se debe al alabeo y a su curvatura.

Podemos diferenciarlas de las láminas plegadas de hormigón, las cuales tienen un carácter plano, no tienen las ventajas que puede aportar la curvatura en el comportamiento estructural producido por la forma.

También las podemos definir como una evolución de la bóveda causada por la aparición de los nuevos materiales y técnicas.

Estas permiten la construcción de formas naturales, dotando a la construcción de gran belleza.

### 6.1.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Para entender la clasificación de estas estructuras debemos entender su curvatura. Esta se muestra cortando la construcción con un plano, esta variará según la rotación y posición del plano, puede ser positiva, negativa o ambas. Llamamos curvatura positiva a la que va dirigida hacia abajo, y la negativa a la que se dirige hacia arriba.

La curvatura dota a la estructura de rigidez y de una gran capacidad portante

Podemos diferenciarlas según su curvatura en estructuras de simple curvatura o de doble curvatura, siendo las primeras las cuales se pueden desarrollar en un plano, por lo que cuentan con una generatriz recta.

En cambio, las de doble curvatura están generadas por el movimiento de varias generatrices curvas, no contiene una generatriz recta por lo que no es posible desarrollarla en un plano sin cortarlas. Esta última se divide en sinclástica, las cuales están doblemente curvadas, y su curvatura tiene el mismo signo, va siempre en la misma dirección. Y las anticlásticas o no desarrollables, también están doblemente curvadas pero su signo es opuesto en cada dirección.

#### 6.1.4 TENSIONES DE FLEXIÓN EN CÚPULAS

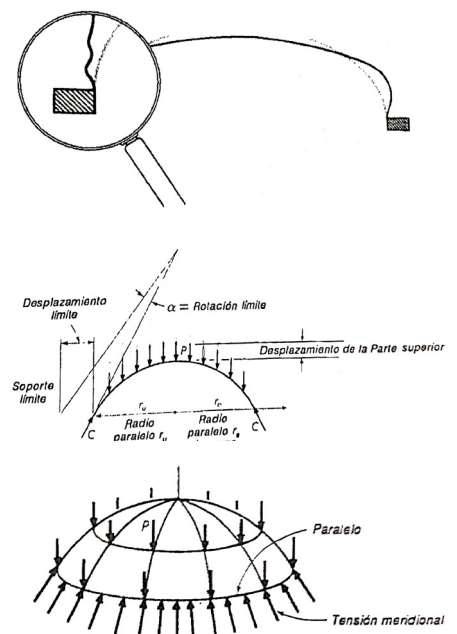
Dado que la obra a desarrollar está formada por cúpulas vamos a explicar cómo trabajan estas. Las cúpulas resisten tensiones de compresión, tracción y corte, por lo que encontraremos diferentes líneas por donde pasarán todas las cargas.

En las cúpulas esféricas tiende a abrirse por el ecuador, concretamente hacia fuera.

Debido a esto, se suele reforzar esta parte, impidiendo así el movimiento, introduciendo flexión en el borde de la cúpula.

Esta flexión no se propaga al resto de la cúpula, los paralelos restringen las flexiones de los meridianos, trabajan bien a tracción y compresión, impidiendo el desplazamiento. Si hubieran grandes desplazamientos en los meridianos esto produciría grandes cambios en los paralelos, provocando deformaciones.

Mayoritariamente, las grandes deformaciones son causadas por los cambios térmicos, produciendo así grandes alteraciones en la cúpula. Esto se resuelve utilizando diferentes materiales térmicos.



## 6.1.5 CONSTRUCCIÓN

### 6.1.6 EJEMPLOS

#### 6.1.6.1 FÉLIX CANDELA

Muchas veces el espesor es determinado por las flexiones que por las diferentes cargas, ya que son las flexiones las que producen una gran alteración, como se ha mencionado anteriormente.

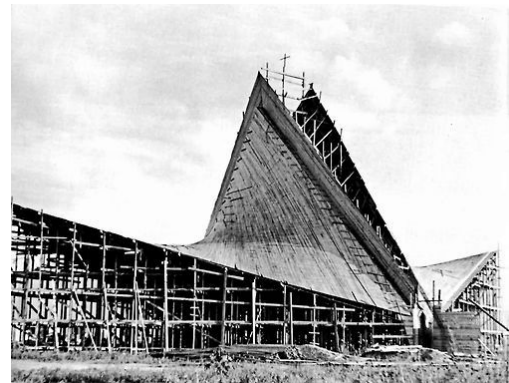
Una de las formas de llevar a cabo este tipo de estructura, es la realización de elementos prefabricados y posteriormente soldando las barras de refuerzo y hormigonando las diferentes uniones.

Se suele usar este método juntamente con el post-tensado, ya que muchas cáscaras producen tracciones, y esto se resolvería introduciendo en la estructura cables de acero, los cuales hacen que la estructura se comprima.

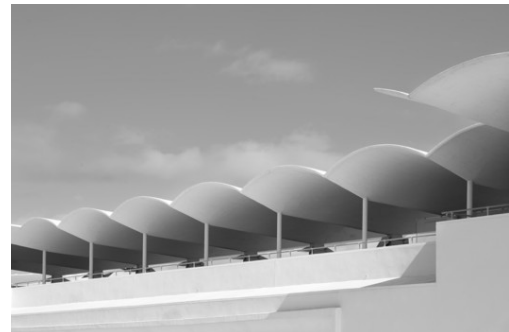


Destacamos a Félix Candela, figura de la arquitectura del siglo XX, era un arquitecto que es conocido por sus estructuras realizadas con hormigón armado, concretamente utilizando el paraboloide hiperbólico, consiguiendo así una gran cantidad de premios. Fundó Cubiertas Ala, donde construyó las diferentes estructuras laminares de hormigón.

Algunas de sus obras más conocidas son Restaurante Los Manantiales, Xochimilco (figura 86), la Planta Embotelladora de Bacardí, Cuautitlán (figura 87) y la Iglesia de San José Obrero, Monterrey (figura 88), todas ellas situadas en México.



#### 6.1.6.2 EDUARDO TORROJA



Por otro lado, resaltamos a Eduardo Torroja, un ingeniero de caminos español, quien también fue profesor, investigador y constructor. Especialista en construcciones de hormigón. Algunos de sus conceptos fueron desarrollados por sus alumnos, concretamente por Felix Candela.

Sus obras más conocidas son el Hipódromo de la Zarzuela, Madrid (figura 89), Mercado de Abastos de Algeciras (figura 90), y Frontón Recoletos (figura 91), también situado en Madrid.

## 6.2 ESTRUCTURAS MACIZAS

Estas estructuras están formadas por materiales de grandes piezas o mediante su continuidad, creando así un volumen diverso y complejo. Ganan resistencia y estabilidad mediante la masa, por lo que trabajarán mejor a compresión.

### 6.2.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

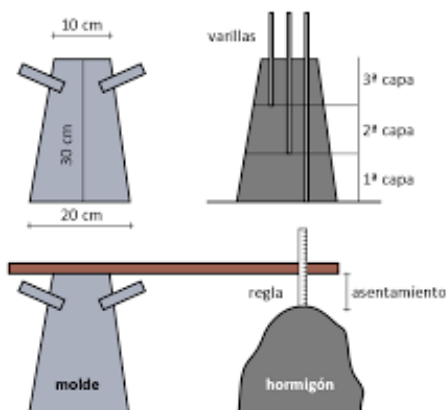
En este tipo de estructuras se puede usar tanto hormigón armado como hormigón en masa. Vamos a diferenciar las propiedades del hormigón fresco y del endurecido.

El fresco tiene una gran facilidad para deformarse, lo cual depende del agua de amasado, este puede tener diferentes consistencia para ello se utiliza el cono de Abrams (Figura 92).

Si hablamos de homogeneidad, tendrá una distribución regular siempre y cuando se haya realizado un buen amasado y se haya vertido de forma adecuada para evitar la segregación del árido. En cuanto al peso específico, nos revela datos como la relación agua cemento.

En cuanto a las propiedades del hormigón endurecido, obtenemos que su densidad depende del tipo del árido utilizado y de cómo se haya compactado. Su valor es de 25 KN/m<sup>3</sup> en hormigón armado y 23 KN/m<sup>3</sup> en hormigón en masa. Otra característica es su permeabilidad, la cual va directamente ligada a su relación agua cemento, si queremos obtener un hormigón de baja permeabilidad deberemos tomar una baja relación agua cemento.

Otra propiedad que podemos destacar es la resistencia al desgaste, ya que de por sí la resistencia es bastante elevada, esta puede estar afectada por agentes biológicos (microorganismos), químicos (aguas, contaminaciones, terrenos agresivos) o mecánicos (sobrecargas, vibraciones o choques).





## 6.2.2 RESISTENCIA MECÁNICA

Esta no tiene un valor fijo y dependerá de diferentes factores como el contenido de cemento, la relación agua cemento y el contenido del aire. También dependerá de las diferentes cargas a las cuales vaya a estar sometido.

## 6.2.3 HORMIGÓN ARMADO

Es el resultado de la introducción de elementos de acero, tales como armaduras, en la masa de hormigón. Dado que el hormigón trabaja a compresión y tiene una resistencia a tracción baja, se introducen las armaduras ya que trabajan de forma adecuada a tracción. Ayudan al hormigón a soportar tensiones de tracciones y esfuerzos cortantes. Ambos materiales tienen coeficientes de dilatación muy similares, y dado que el hormigón rodea al acero, evitará que este se oxide.

Por lo que con la combinación de ambos materiales se obtiene un conjunto el cual se comporta de manera adecuada a los diferentes esfuerzos.

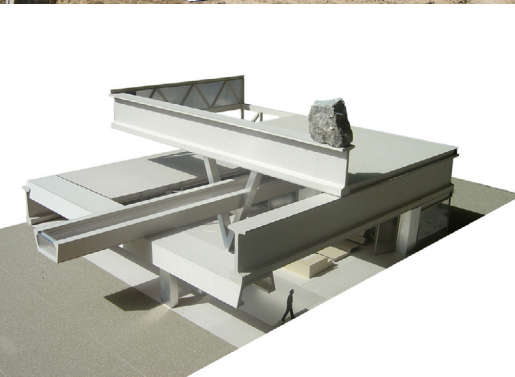
## 6.2.4 ADAPTABILIDAD

Este, debido a su estado de vertido, se adapta a cualquier forma irregular. Es utilizado para crear formas técnicas, decorativas y volúmenes con formas complicadas. Todas estas construcciones además de conseguir un valor estético estarán dotadas de un gran valor de seguridad por sus características mecánicas mencionadas anteriormente.

PÁG 60

## 6.2.5 EJEMPLOS

### 6.2.5.1 ANTÓN GARCÍA-ABRIL



93

94

95

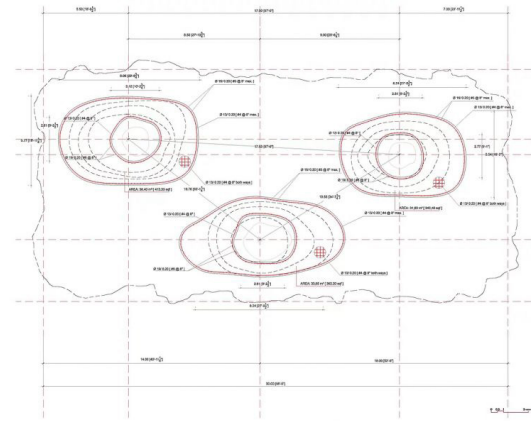
El arquitecto y profesor resalta por la exploración del espacio a través de la materia y la estructura. Dedicó su carrera a innovar diferentes tipologías y metodologías en el campo de la arquitectura y construcción.

Fundó Ensemble Studio junto a la arquitecta Débora Mesa. Destacamos dos de sus obras, ambas de ellas trabajando con estructuras macizas.

La Casa Hemeroscopium (figura 93-95), situada en Madrid, es un espacio doméstico, el cual destaca por sus grandes dimensiones. Esta a su vez se caracteriza por el equilibrio de sus elementos, obteniendo así un espacio concreto. Formada por siete elementos todos ellos forman el apoyo del anterior, todos de ellos apoyos simples.

Todos sus componentes son colocados de forma helicoidal en sentido ascendente, siendo sus últimos elementos los de menor peso, y finalizando el recorrido con una gran piedra, la cual cierra el sistema de equilibrio.

96



97



98

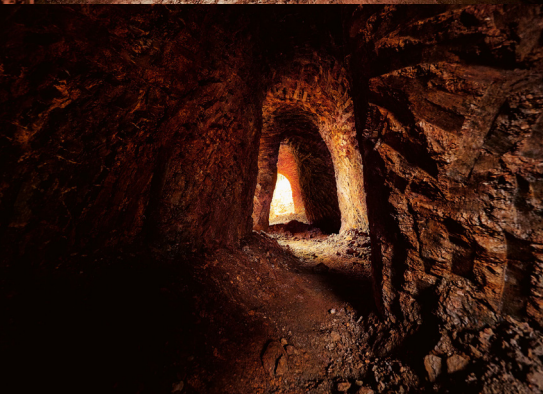


99

Por otro lado, destacamos Domo (figura 96-99), una obra creada por Ensamble Studio. Esta intervención forma parte de una instalación de diferentes esculturas al aire libre en el rancho de los Healteds. También caracterizada por su gran dimensión.

Está diseñada como un pequeño auditorio, donde los huecos desempeñan una función acústica creando una relación entre la música, el paisaje, el silencio de los alrededores y los visitantes. Este proyecto mezcla escultura, arquitectura y naturaleza, que con sus voladizos y pilares desafían a la física. Se ha creado a raíz de diferentes estudios y análisis geológicos.





100

En cuanto a esta tipología tenemos en cuenta la Vivienda y Restaurante.

Este proyecto consiste en un restaurante y una vivienda, en concreto con forma de cueva. Esta tiene una trama laberíntica, conectando diferentes espacios con grietas y moldeados cavernarios, por lo que desde el exterior es imposible entender el programa y los diferentes espacios que componen este proyecto.

Por tanto, destaca el proceso constructivo que se ha seguido para llevar el proyecto a cabo. Donde, en vez de excavar el terreno para crear los espacios y galerías, se crearon los diferentes huecos en el terreno, para más adelante, llenarlos de hormigón con su respectiva armadura. Finalmente y una vez fraguado el hormigón, se vacía el terreno, consiguiendo así generar el espacio final que se había deseado, un volumen macizo de hormigón en forma de roca, que a su vez, crea un paisaje tipo cueva.

101

102

### 6.2.6 DENIFICIÓN DE ESTRUCTURA MACIZA PARA NUESTRO PROYECTO

Podemos definir una estructura maciza, en este caso, como una estructura imprecisa, la cual será pesada y con una gran rigidez. Al contrario que las estructuras ligeras, las cuales están formadas por huecos, será la misma estructura maciza la que dará lugar a diferentes huecos y espacios. Por otro lado, está caracterizada por la materia prima del lugar donde se va a ejecutar el proyecto, ya que esta determinará el acabado y los alrededores del proyecto, podríamos decir que principalmente se utiliza un método de sustracción.

Estas estructuras ganan resistencia y estabilidad mediante la masa, por lo que trabajarán mejor a compresión. También encontramos una continuidad dado que el material empleado será continuo, a la vez que diverso y complejo.

## 7. RESUMEN DE LAS PROPIEDAS DEL ANÁLISIS DE LAS DOS TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

### CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURA LIGERA

LIGERA  
ENCUENTRO CON EL SUELO: EMPOTRAMIENTO  
PRECISA / DEFINIDA  
PEQUEÑO ESPESOR (ESPESOR CONSTANTE)  
COMPUESTA POR HUECOS  
ANTINATURAL  
ENVOLTURA DE UN VOLUMEN  
RESISTEN: PESO PROPIO Y CARGAS EXTERIORES  
EFICIENCIA: CURVATURA Y ALABEO

### CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURA PESADA

PESADA  
INDEFINIDA / NO PRECISA  
ESPESOR= ESTRUCTURA  
MACIZO / SIN HUECOS  
NATURAL  
RESISTENCIA Y ESTABILIDAD MEDIANTE LA MASA  
ESTRUCTURAS RESISTENTES A GRANDES FUERZAS

## 8. ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA LIGERA

### PILLARS OF DREAMS

Como ya se ha mencionado, vamos a trabajar con dos tipologías opuestas, para ello, empezamos con la creación del modelo, haciendo referencia a las estructuras ligeras. Empezamos el estudio a partir de la obra Pillars of Dreams (Figura 52), de Marc Fornes, esta es modificada ligeramente para conseguir la estructura que deseamos.

Esta obra es conocida como un pabellón emblemático formado por una estructura ligera y flotante, formada a su vez por volúmenes que parecen estar llenos de aire pero sostenidos por una fina piel de aluminio ultrafino.

El pabellón en forma de nube está anclado al suelo mediante nueve pilares, que forman parte de la superficie continua de aluminio que configura la parte superior de doble cobertura. Compuesto además, por dos combinaciones de colores de partes laberínticas que forman las dos caras de piel de la estructura, la segmentación forma parte del proceso de descomposición de una malla tridimensional en rayas lineales y no lineales. Las bifurcaciones y divisiones en el patrón se aprietan y se extienden para producir porosidad, la piel se vuelve más delgada y más abierta a través de las amplias extensiones de las esferas, permitiendo que la luz pase a través de ellas. Cuando los volúmenes se fusionan, las franjas entre ellos se vuelven más densas, lo que contribuye al rendimiento estructural. Esta, está compuesta por una forma antinatural y precisa y definida a la vez.

La obra busca un equilibrio entre materialidad, forma y proceso. Siendo la estructura la envoltura de un volumen limitado, esta tendrá un espesor pequeño comparado con su área y curvatura.



Esta superficie delgada de poco espesor resiste tanto las cargas de su peso propio como las externas mediante la compresión de la cáscara.

Por otro lado, intentamos que las fuerzas de flexión de la estructura sean las mínimas posibles. Además el encuentro de los diferentes pilares con el terreno es resuelto con empotramientos, para así recibir mejor los diferentes esfuerzos.

Su eficiencia se debe a su curvatura, por lo que esta debe ser de espesor constante o al menos, sin variaciones bruscas, por tanto puede variar gradualmente.

En nuestro modelo la piel será delgada excepto cuando se resuelvan los diferentes encuentros con los otros volúmenes.

Por otro lado, gracias al material utilizado hemos simulado la porosidad de la cual se ha hablado anteriormente.

Esta ha sido creada mediante un molde formado por 9 pilares y diferentes esferas de poliestireno expandido con distinto diámetro. Una vez solucionada la unión entre las esferas, procedemos al recubrimiento con vendas de yeso, reforzando los puntos críticos de la maqueta. Más adelante, procedemos a realizar su vaciado, por lo que la dividimos en partes, y con la ayuda de un producto químico, en este caso la acetona, fundimos el poliestireno. Una vez retiradas todas las esferas y los pilares, volvemos a colocar vendas de yeso para unir las diferentes partes, obteniendo así, una estructura ligera.

Si llevásemos esta maqueta a la realidad, se realizaría con elementos prefabricados, los cuales se irían uniendo hasta obtener el volumen final.

Esta se podría escalar gracias a sus dimensiones y características, ya que estaría realizada con hormigón armado. Esta tendría mucho juego debido a la cantidad de volúmenes, pero debido a que tiene partes que desplomarían aumentaría la dificultad de sus vías, haciéndolas inaccesibles para gente sin experiencia o poco nivel.

Dado que la obra tiene 8 metros, la escala de la maqueta es de 1/20.



103



105



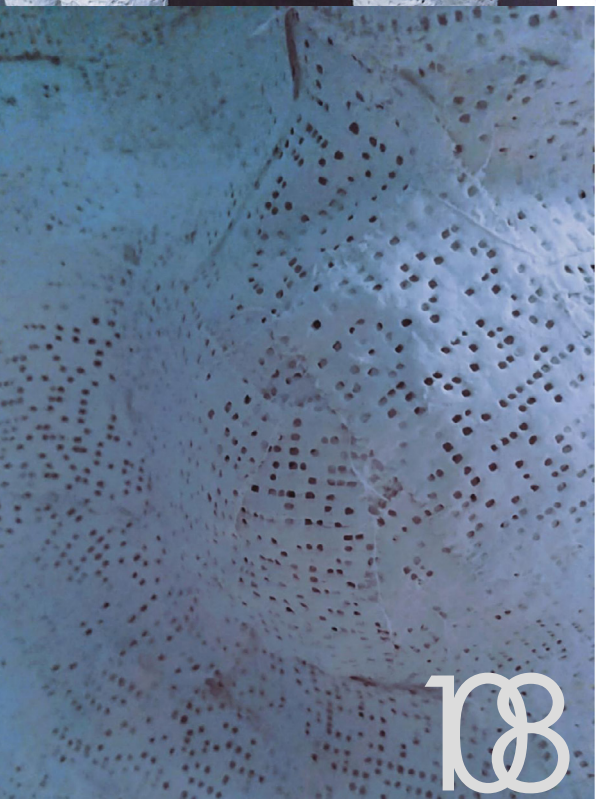
104



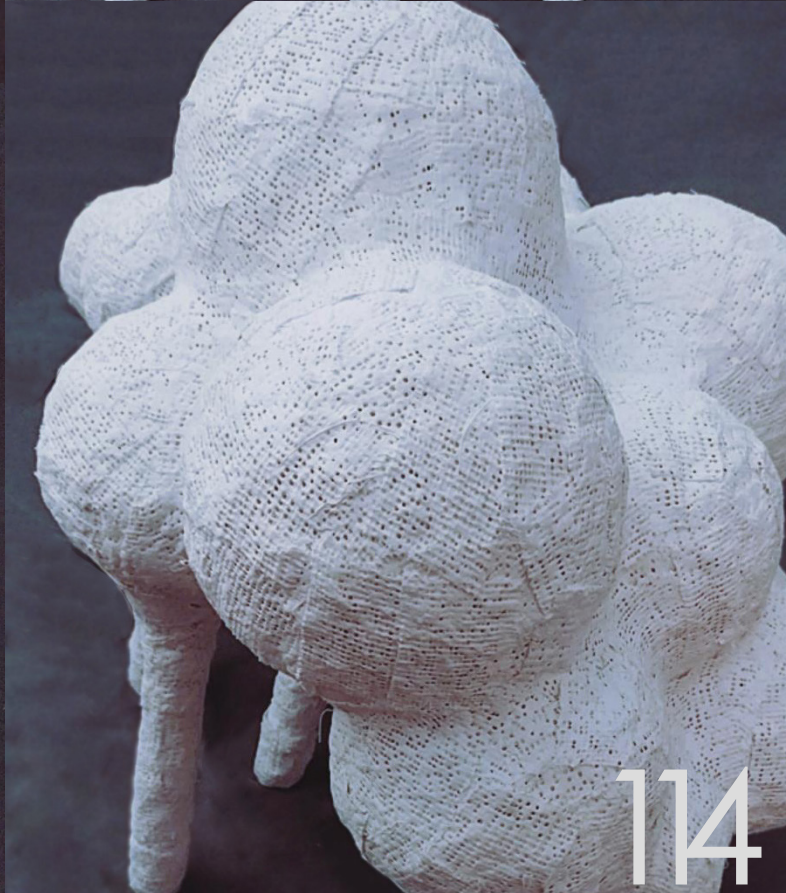
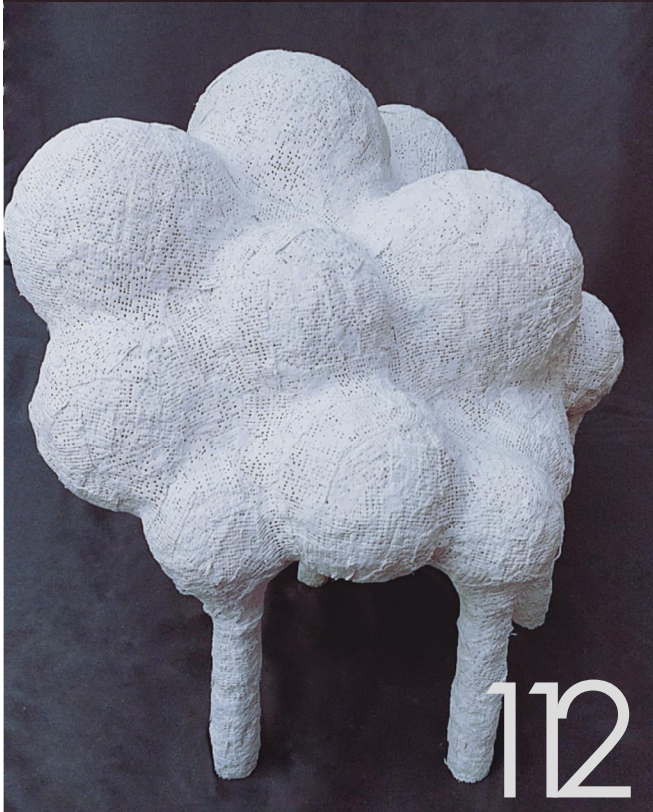
106

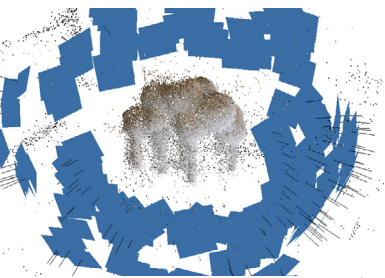




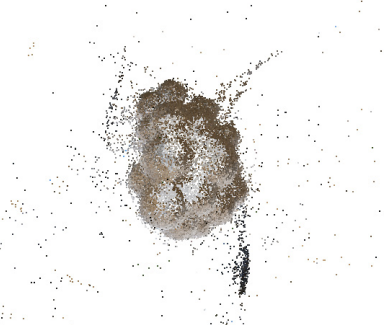








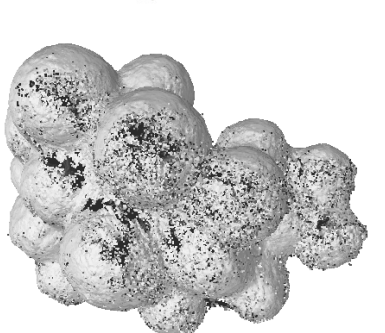
115



116



117



118

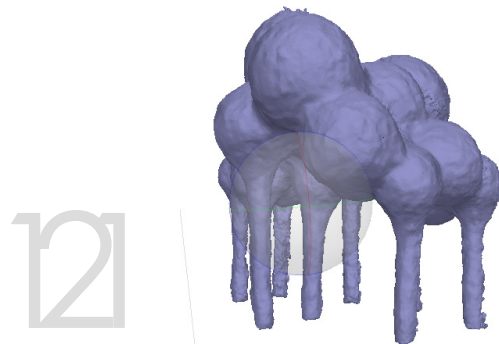


119

Una vez obtenida la maqueta de la obra, realizamos su fotogrametría, para ello, capturamos imágenes alrededor de sus 360 grados, para así obtener un escaneado digital. Este proceso se obtiene mediante el programa Agisoft. Obtenida la primera propuesta creamos la nube de puntos y eliminamos los puntos sobrantes para poder trabajar mejor.

Creamos una nube de puntos densa y la convertimos en un sólido. Finalmente la texturizamos y exportamos a Rhino.





## 9. PROPUESTA ESTRUCTURA PESADA 1

Ya creado el modelo de la estructura ligera a partir de la obra explicada anteriormente, empezamos a trabajar con su negativo, es decir, las estructuras pesadas. Por tanto, empezamos con la creación de diferentes modelos, para finalmente, obtener una maqueta final. Para ello nos hemos basado en nuestra experiencia y en la experiencia de otros escaladores, como hemos mostrado en el diagrama realizado en el apartado 5.1. En este diagrama lo que observamos son diferentes características donde muchas de ellas están relacionadas con el espacio del sector. Así pues, hemos escogido aleatoriamente diferentes características relacionadas con la forma del sector y de las vías. Estas experiencias son comunes entre varias personas.

Por ello, la primera propuesta estará situada cerca de un río, ya que en algunas épocas del año resulta refrescante. Predominarán las vías largas, las cuales tendrían una altura superior a los 35m, es decir, predomina el eje z. Al tener poca superficie superior el sol se vería proyectado en casi todas las vías. Además, serían vías caracterizadas por agarres tipo cantos y grietas, donde al final de estas encontraríamos una zona desplomada con diversos salientes.

Escala del modelo: 1/300.







131

132

133

134

Este modelo ha sido realizado mediante un proceso de sustracción. Además, utilizamos una resina versátil de base de agua llamada jesmonite que está dotada de unas propiedades como una gran resistencia, durabilidad y la no toxicidad. Las etapas del proceso son las siguientes: primero, mezclamos en un molde polvo de vidrio y agua, para obtener una mezcla más densa y poder darle la forma deseada, mediante diferentes herramientas retiramos la cantidad requerida para conseguir el volumen requerido, una vez conseguido vertemos la resina y esperamos una cantidad de tres días para que se solidifique, y finalmente realizamos una excavación para desenterrar el modelo.

135



137



136



138







139



141

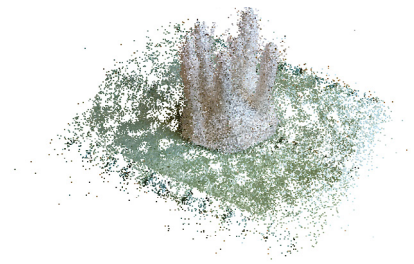


140

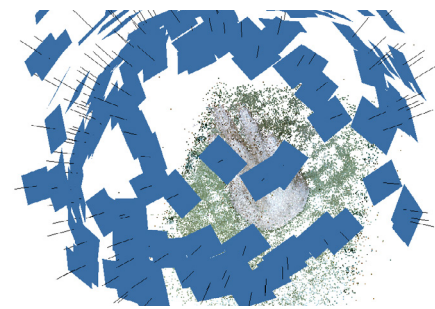


142

143



144



145



146



147

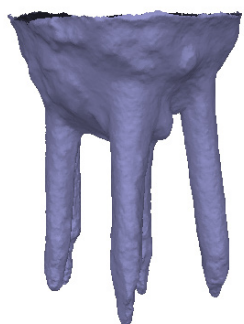


Al igual que en la estructura ligera, hemos realizado su fotogrametría, para ello, capturamos imágenes alrededor de sus 360 grados, para así obtener un escaneado digital. Obtenida la primera propuesta creamos la nube de puntos y eliminamos los puntos sobrantes para poder trabajar mejor.

Creamos una nube de puntos densa y la convertimos en un sólido. Finalmente la texturizamos y exportamos a Rhino.



148



149



150



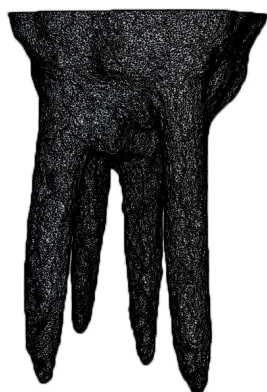
151



152



153



154



155



156

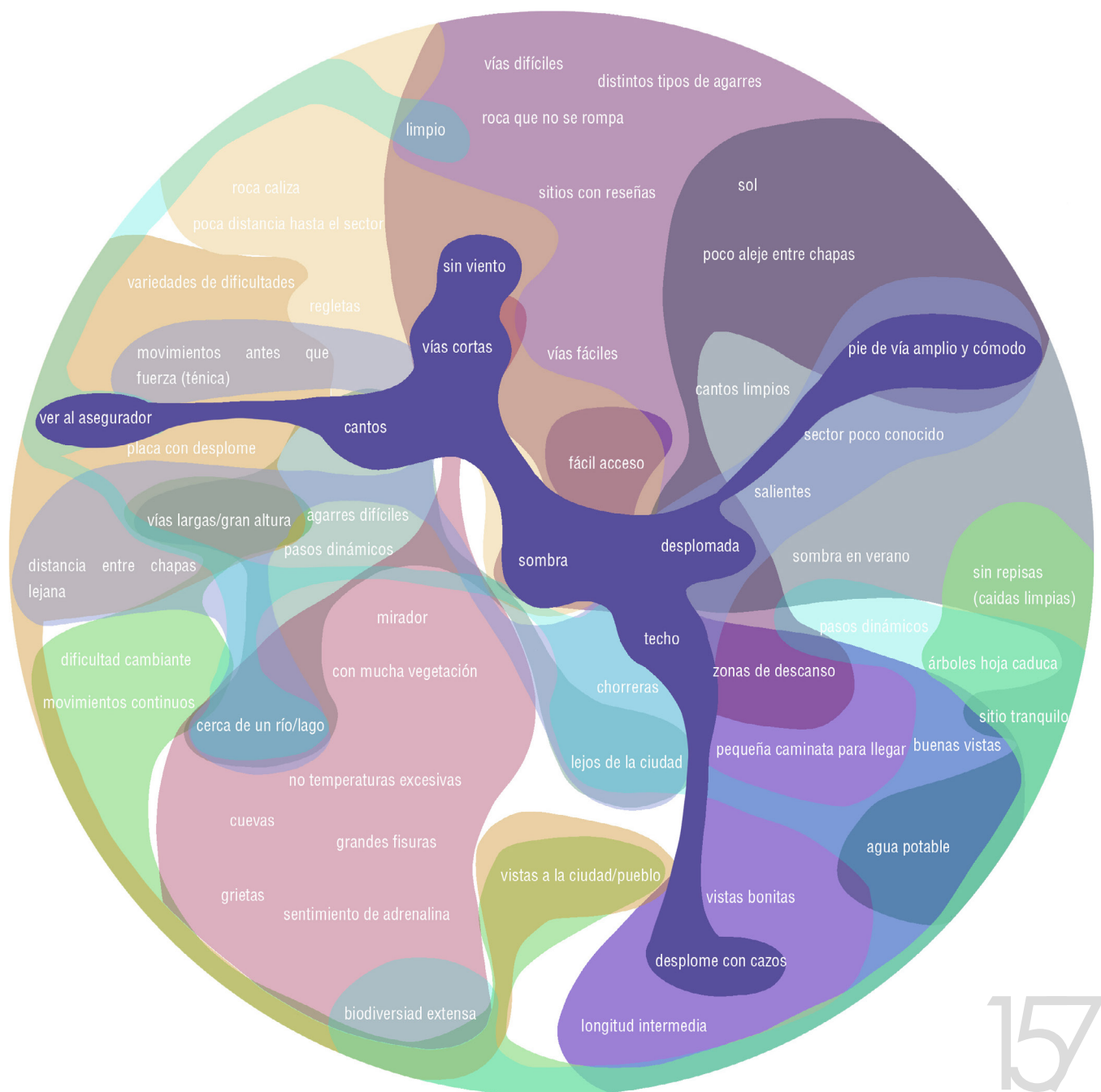


## 10. PROPUESTA ESTRUCTURA PESADA 2

Usamos el mismo procedimiento para crear otro modelo, en este caso estará dotado de poca altura, 10m, y dada su superficie será una zona dotada de sombra. Como los pilares están bastante separados entre sí, obtenemos un pie de vía amplio y cómodo, donde el escalador será capaz de ver al asegurador en todo momento. Por otro lado, y debido a su poca altura, podremos escalar sin viento, fenómeno que no ocurriría en el modelo anterior. Y debido a su forma, predominará la escalada en techos, es decir, grandes desplomes, por lo que la mayoría de agarres serán cazos, para así, tener vías accesibles para todas las personas.

El modelo se ha realizado con el mismo proceso y pasos que la primera maqueta.

Escala: 1/30.



158



159

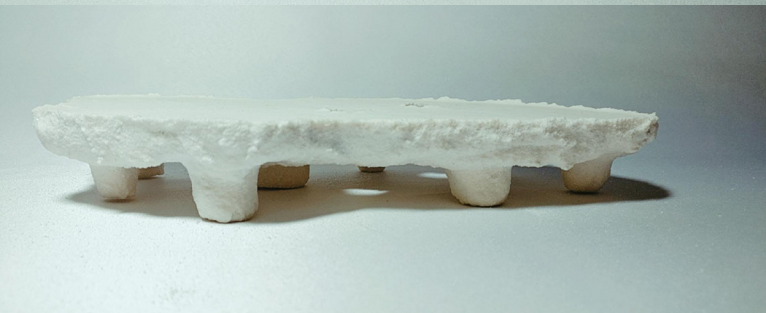


160





161



162



163



164



165



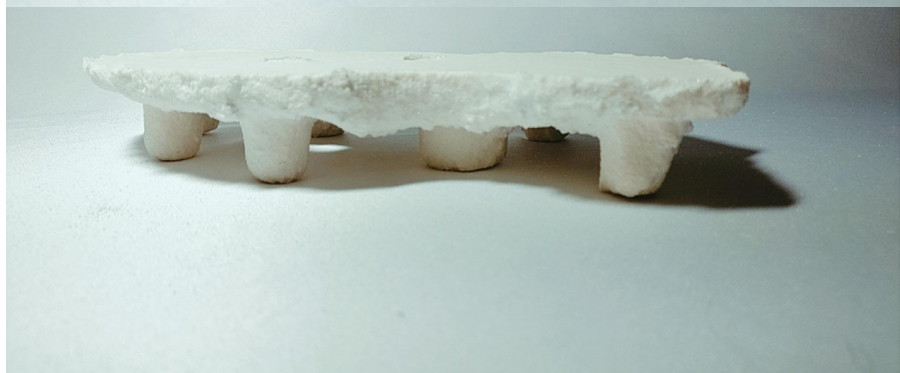
166



167



168





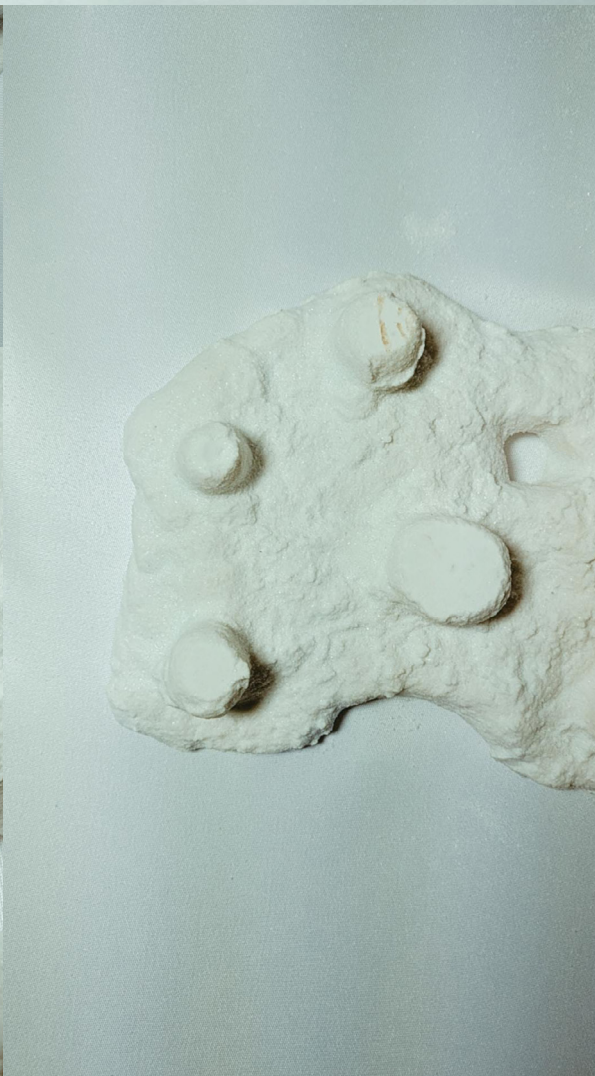
169



170



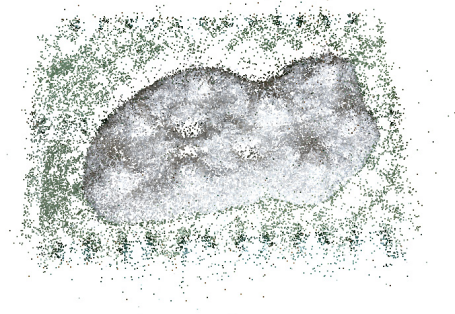
171



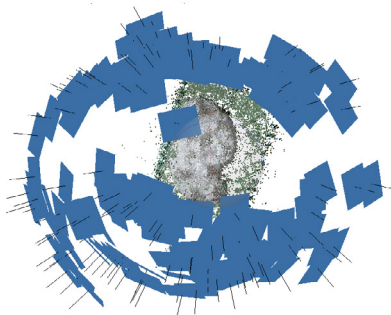
172



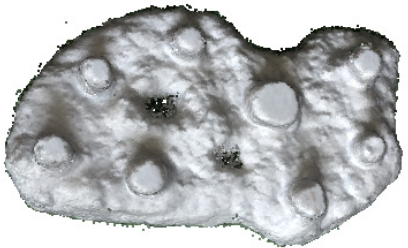
173



174



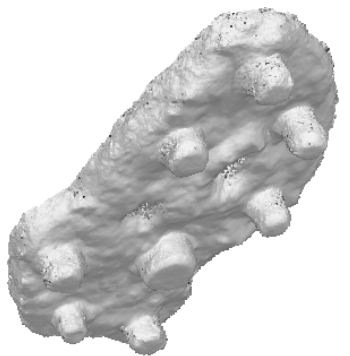
175

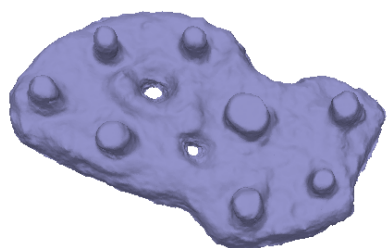


176



177





178



179



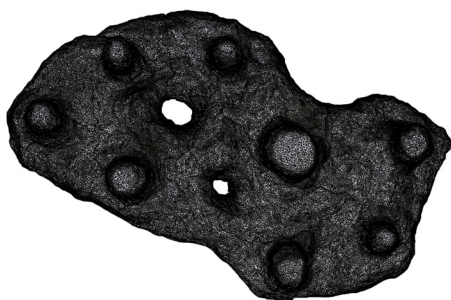
180



181



182



183



184

Al igual que en los casos anteriores, hemos realizado su fotogrametría, para ello, capturamos imágenes alrededor de sus 360 grados, para así obtener un escaneado digital. Obtenida la primera propuesta creamos la nube de puntos y eliminamos los puntos sobrantes para poder trabajar mejor.

Creamos una nube de puntos densa y la convertimos en un sólido. Finalmente la texturizamos y exportamos a Rhino.

## 11. PROPUESTA FINAL

Una vez realizamos estos dos modelos, donde en cada uno de ellos predominan unas características, decidimos englobar todas ellas en una maqueta, y no solo eso, sino que añadimos más preferencias de otros escaladores, obteniendo así un proyecto más amplio, al cual pueda acceder más gente.



De la primera maqueta obtendremos las vías largas con desplomes, grietas y cantos, en cambio de la segunda maqueta obtendremos vías cortas con techos y cantos, las cuales tienen un pie de vía amplio y cómodo para poder ver al asegurador en todo momento. Esta estará dotada tanto de sol como de sombra, ya que el proyecto tendrá dos alturas, y la planta baja estará a una cota negativa. A parte de todas estas características, añadiremos todo tipo de agarres, creando grietas, chorreras y pequeñas cuevas, aumentando así la variedad de movimientos a realizar, obteniendo movimientos dinámicos y movimientos donde predomine la técnica. Por otro lado, habrá zonas donde las chapas estarán más alejadas y otras donde su distancia sea menor, esto dependerá de la dificultad de la vía y de los movimientos que se lleven a cabo.

Como hemos mencionado anteriormente tendrá dos alturas, la primera de ellas de 20 m, la segunda de ellas tendrá 17 m, para que gente con poca experiencia o con miedo a las alturas se sienta cómoda. Por tanto su escala es de 1/300. El proyecto está dotado de diferentes huecos para así enlazar las dos alturas, dando lugar a la conexión de las vías de la planta baja con las de la primera planta, consiguiendo así las vías largas, caracterizadas por el desplome de los huecos. Pero además tenemos pilares que conectan directamente con la primera planta, para el caso en el que se quiera realizar vías largas pero se quieran evitar los desplomes. También encontramos pilares de diferente sección, cuanto más grande sea esta estará dotado de más cantidad de vías.

Destacamos de la segunda planta su gran voladizo, el cual es un desplome con una caída totalmente limpia al vacío. También, está dotada de grandes desplomes, haciendo que esta primera planta tenga un nivel superior, ya que a mayor ángulo de inclinación, mayor será la dificultad.

Asimismo, encontramos dos pilares de la primera planta que no están en contacto con la planta inferior, dando lugar a una escalada de descenso, que en raras ocasiones se ve, y a un espacio donde predomina el rápel.



186

El proyecto estará situado en Anna, Valencia, el cual es un sitio dotado de una gran naturaleza y además cuenta con varios gorgos y cascadas. Por lo que el proyecto estaría cerca de un río, cumpliendo así una preferencia de mucha gente, y a su vez, rodeado de un gran paraje natural. Su ubicación exacta serán las coordenadas 39.031440, -0.636984. A este espacio se puede acceder con una pequeña senda.

187

Se ha elegido este lugar ya que se ha querido fomentar un espacio el cual no tiene sectores para escalar, ya que si el proyecto es construido en una zona la cual es conocida por sus sectores, hay una posibilidad de que estos dejen de estar concurridos. Por lo que queremos potenciar así el pequeño pueblo escogido dándolo a conocer ya no solo por su encanto y entorno, sino por una nueva infraestructura, fomentándolo con una nueva actividad, y posibilitando a más gente la introducción de este deporte, fomentando un nuevo interés cultural.

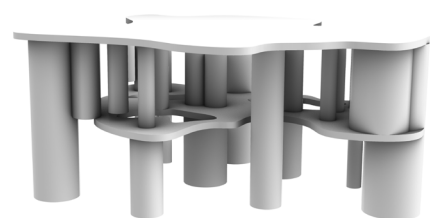
188



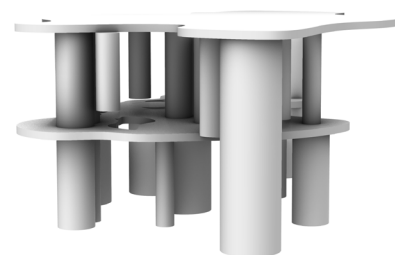
Como se ha mencionado anteriormente, al proyecto se llegará mediante una senda, la cual no tiene dificultad, por lo que tendrá un fácil acceso. Por otro lado, como la planta inferior está situada a una cota negativa, a esta parte se accederá mediante unas escaleras, pero además, se creará una pasarela que se conecte con la primera planta, lo que te permite una libre elección sobre las vías. Para entenderlo mejor podemos ver el acceso en apartado 11.5.

#### 11.4 PRIMER ACERCAMIENTO

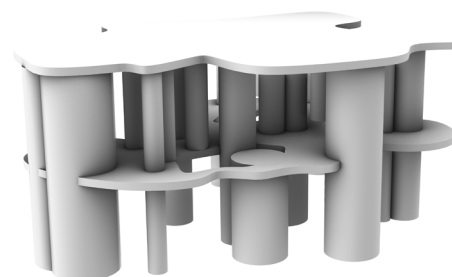
189



190



191



Antes de empezar con la maqueta, realizamos diversas pruebas con la ayuda del programa Rhino, donde imprimimos las proyecciones horizontales de cada planta para tener una guía. Esta no será la forma de la maqueta final, ya que a la hora de llevarla a cabo se modificará, porque son estructuras muy imprecisas.

## 11.5 PROCESO CONSTRUCTIVO



192

193

194

195

196

Como ya se ha mencionado varias veces, la planta baja está a una cota negativa ya que el proyecto se llevará a cabo con hormigón y que hacer un molde para una obra con dimensiones tan grandes sería casi imposible, por tanto, la primera planta está situada a cota 0.

Como una planta está bajo tierra, el proceso de construcción será diferente. La planta baja se realiza con la sustracción del terreno en los lugares que quedarían ocupados por el material. Una vez retirada esta cantidad de tierra, colocaremos el mallazo y vertemos el hormigón. Cuando esté seco, retiramos la tierra de los alrededores, quedando visto nuestro proyecto. En el apartado 6.2.4 se ha explicado la adaptabilidad del hormigón, por lo que con las imperfecciones y huecos del terreno se crearían los diferentes agarres, es decir, está caracterizada por la materia prima del lugar. Esta planta sigue el mismo proceso constructivo que la House & Restaurant de Junya Ishigami.

En cambio, como la segunda planta estará sobre la cota 0, se realiza un encofrado con la forma deseada, ya que en este caso es más difícil que se creen imperfecciones, por lo que se colocarían diferentes presas (agarres), para poder escalar. Obteniendo así una gran variedad de tipos de agarres, tanto naturales como artificiales.

En resumen, la planta inferior estará dotada de agarres naturales, y la planta superior de agarres artificiales.

A la hora de realizar el modelo hemos intentado crearlo con los mismos procesos explicados en los párrafos anteriores. La planta baja se creará mediante la sustracción, es decir, de la misma manera que se han creado los dos modelos anteriores. Y respecto a la primera planta, realizar un encofrado es bastante complicado para una escala pequeña, por tanto, se ha realizado añadiendo polvo de vidrio a modo de molde, y una vez conseguida la forma requerida, se ha vertido la resina. Destacamos que no se han realizado las dos plantas unidas para obtener una fotogrametría más exacta.

197



200



201



202



198



203



199





PÁG 94  
11.6 MAQUETA



24



25



26

27



28



29







20



21



22

213



214



215







216



217



218

219



220



221

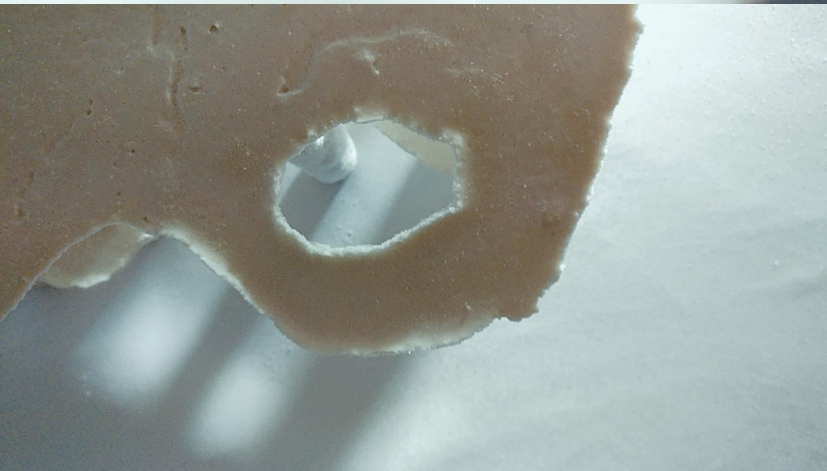




PÁG 100



222



223



224



25



26



27



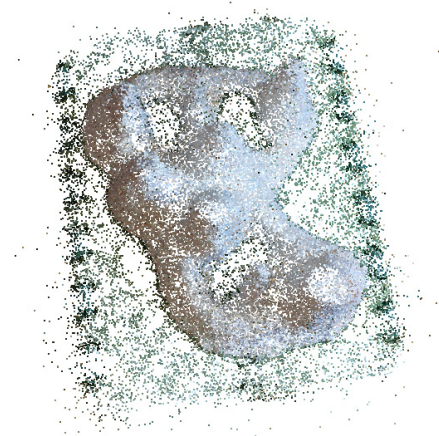


28

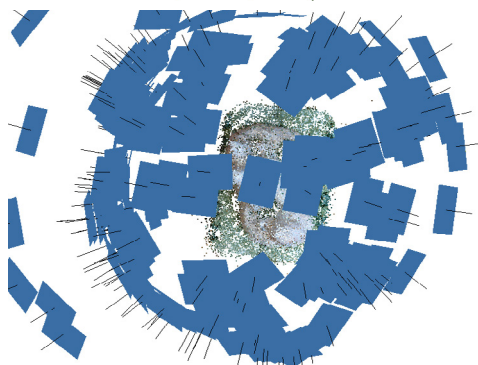


29

230



231



232



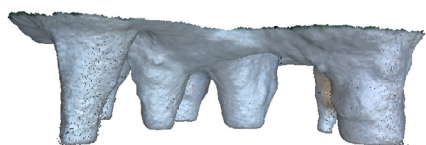
233



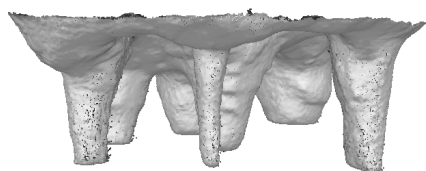
Como en todas las maquetas capturamos imágenes alrededor de sus 360 grados, para así obtener un escaneado digital. Obtenida la primera propuesta creamos la nube de puntos y eliminamos los puntos sobrantes para poder trabajar mejor.

Creamos una nube de puntos densa y la convertimos en un sólido. Finalmente la texturizamos y exportamos a Rhino. Este proceso lo repetiremos dos veces, ya que está compuesta por dos plantas.

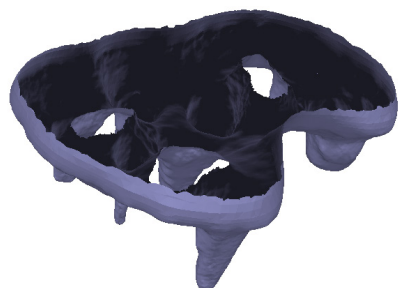




234



235



236



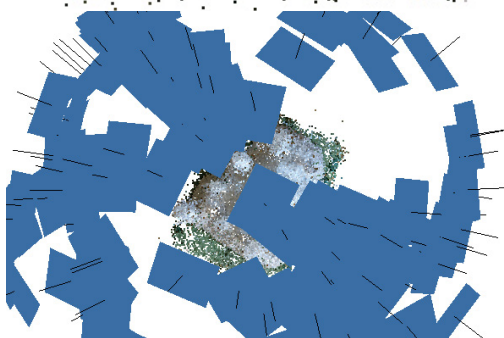
237



238



239



240

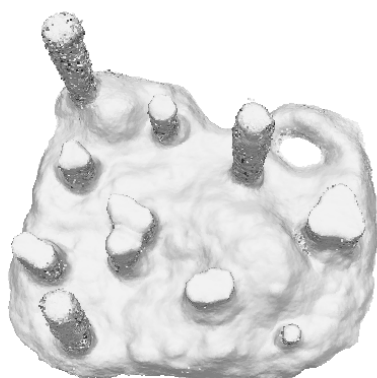


241



242

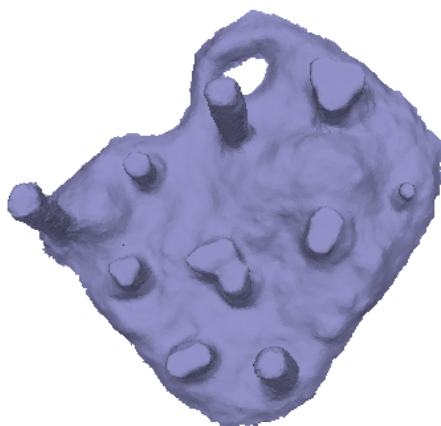
23



26



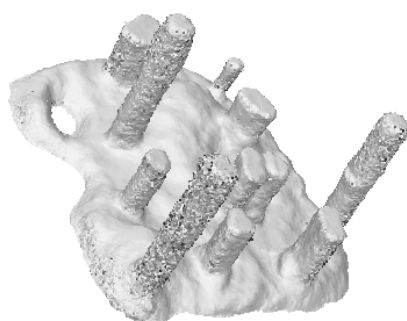
24



27



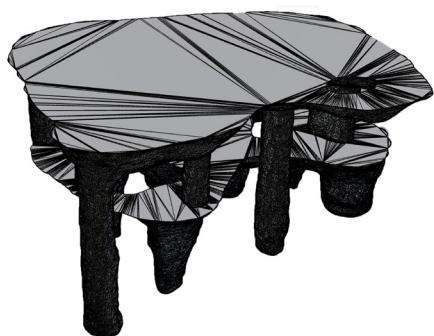
25



28







24



25



25



25



23

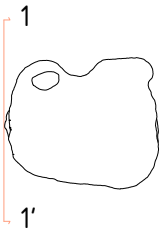


24

11.5 PROGRMA

Decidimos explicar el programa del proyecto a través de secciones en sus cuatro direcciones, para así tener todas las reseñas posibles. En ellas se verán todas sus vías y su recorrido. Además, decidimos dividir las con diferentes colores, cada uno de ellos hará referencia a un grado de dificultad, podemos observarlo en la leyenda. Cada sección contendrá una diferente ya que igual carece de alguna dificultad, y de su sección el planta, para así poder ubicarla mejor. Además, resaltamos que se utilizará la disciplina de escalada deportiva.

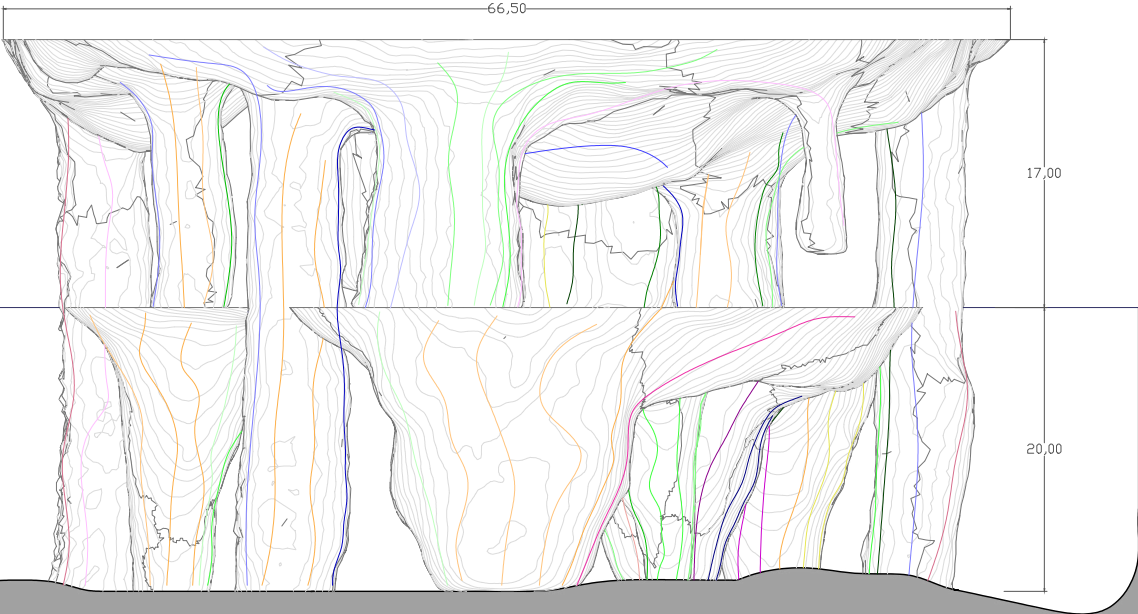
25



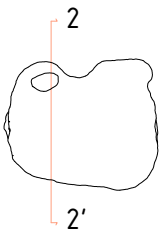
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+

Sección 1-1'

E. 1/500

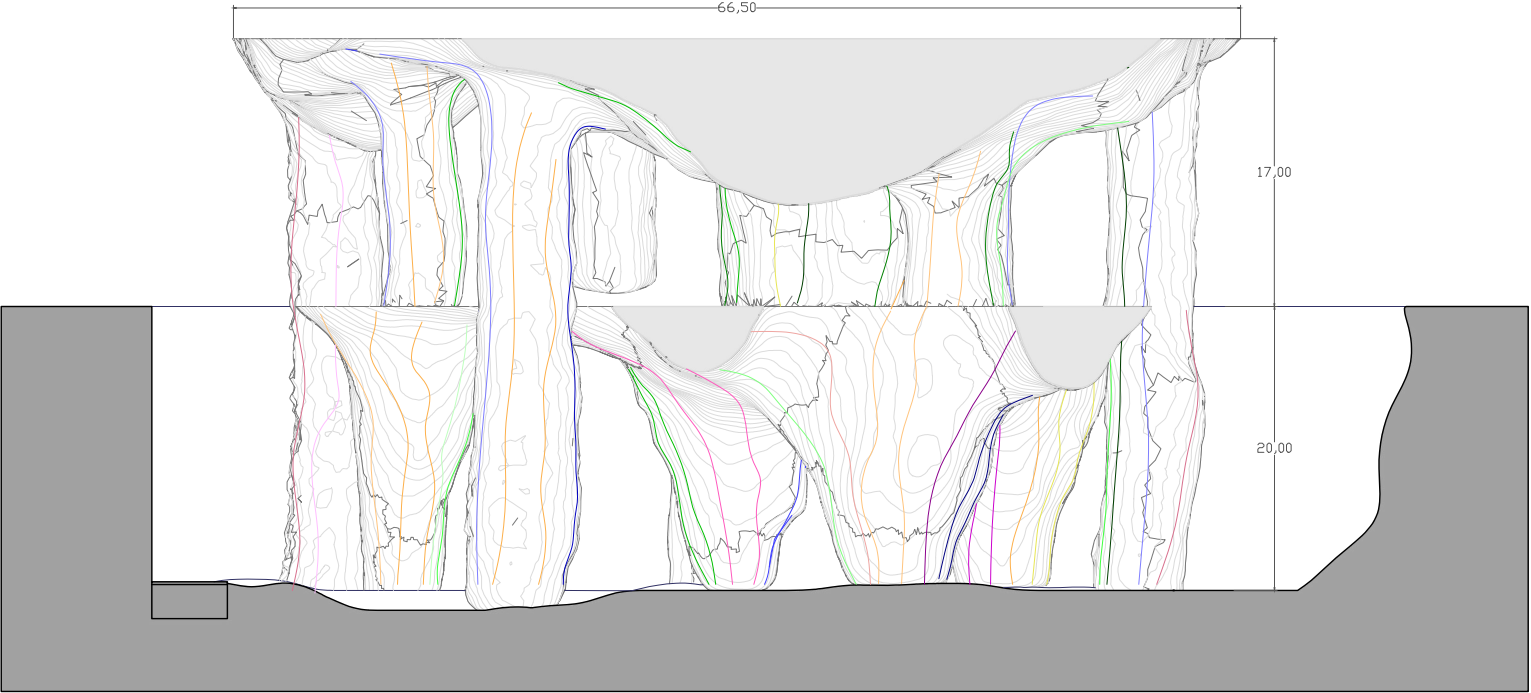


- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+

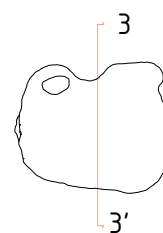


Sección 2-2'

E. 1/500

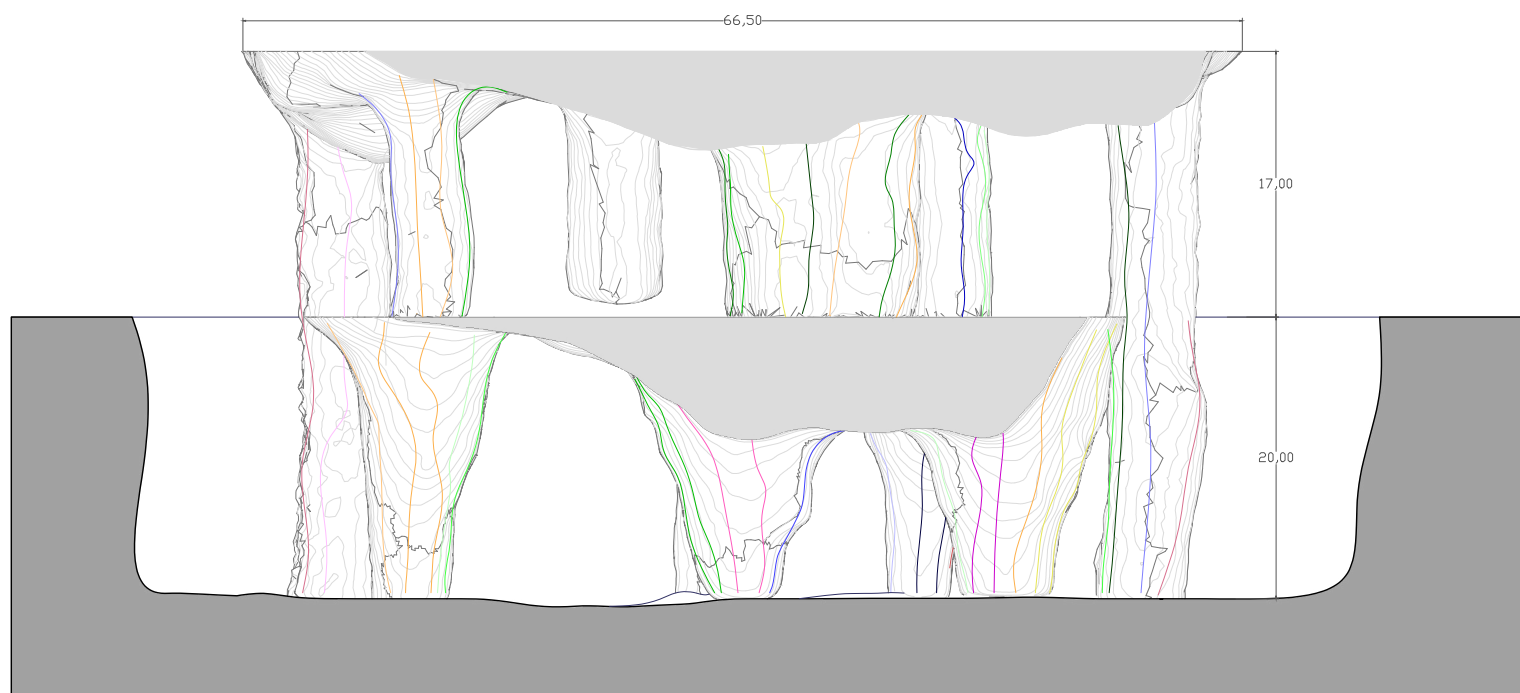


- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+



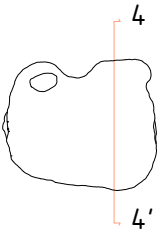
Sección 3-3'

E. 1/500



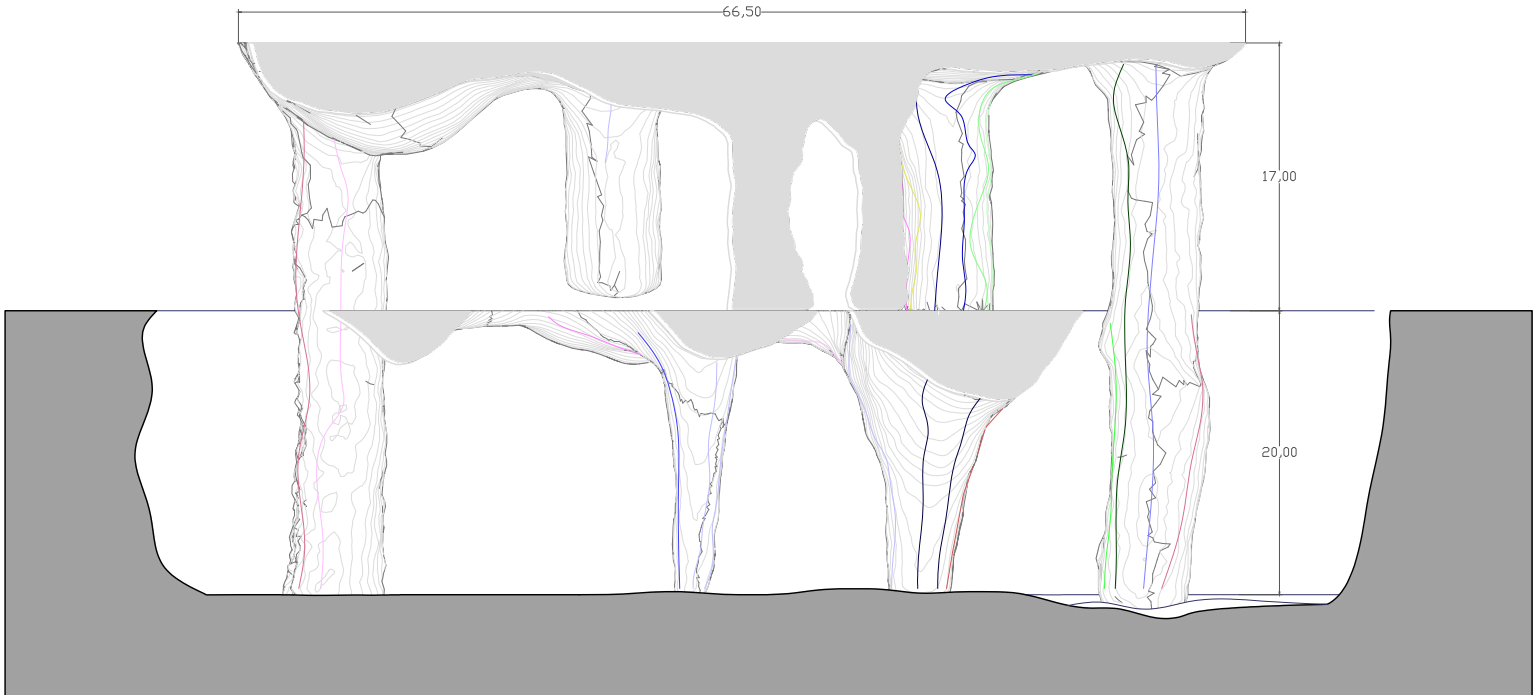


- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+

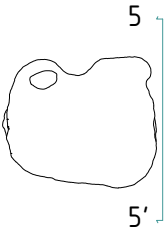


Sección 4-4'

E. 1/500

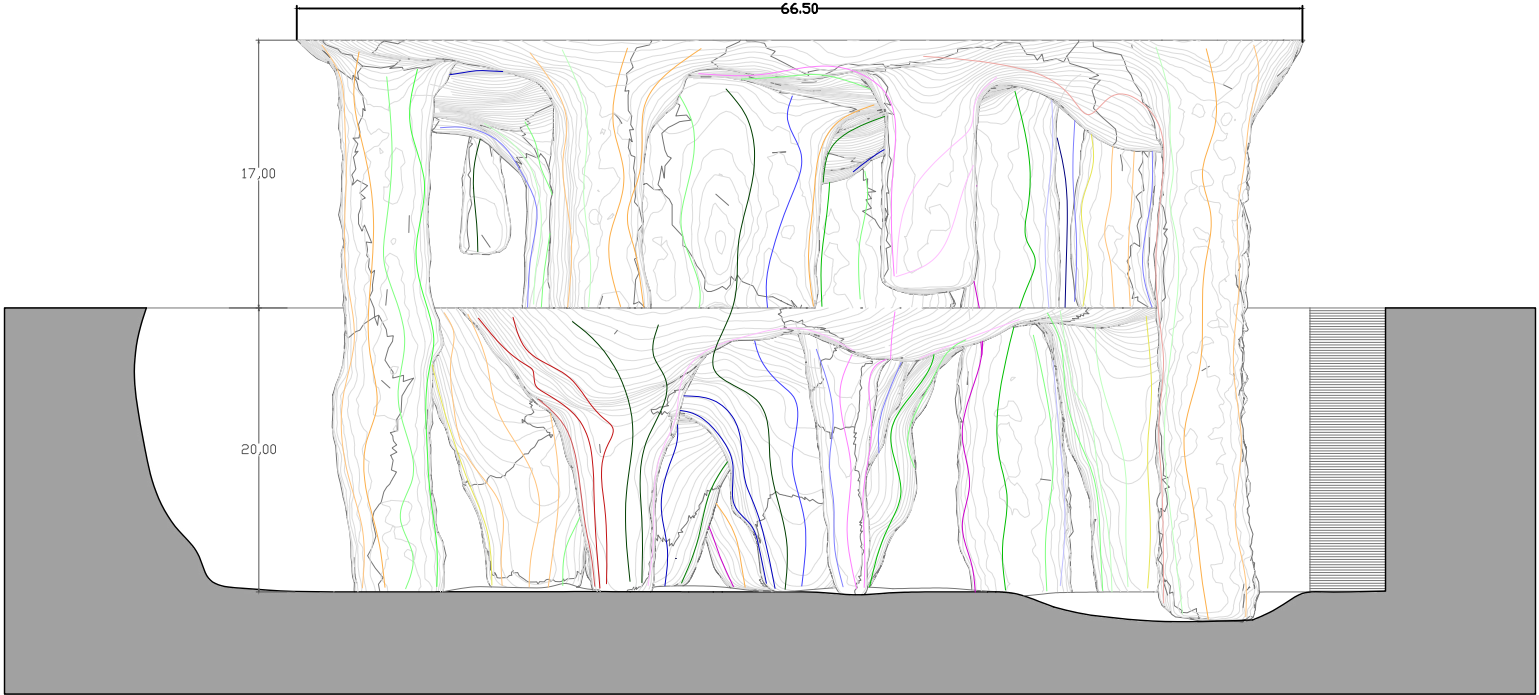


- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b+
- 8c
- 9a
- 9b
- 9b+

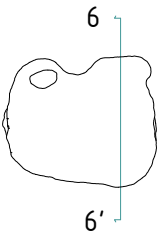


Sección 5-5'

E. 1/500

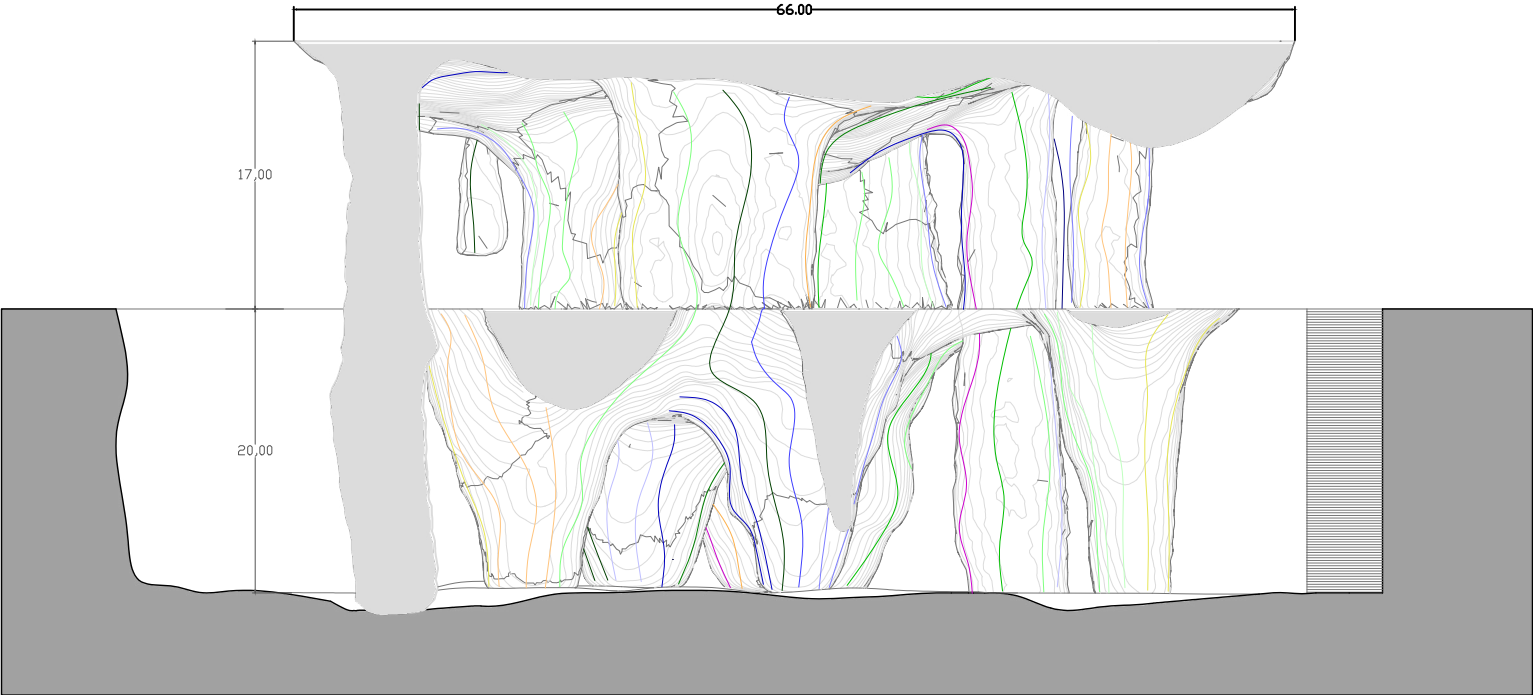


- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b+
- 8c
- 9a
- 9b
- 9b+

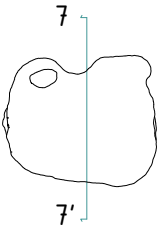


Sección 6-6'

E. 1/500



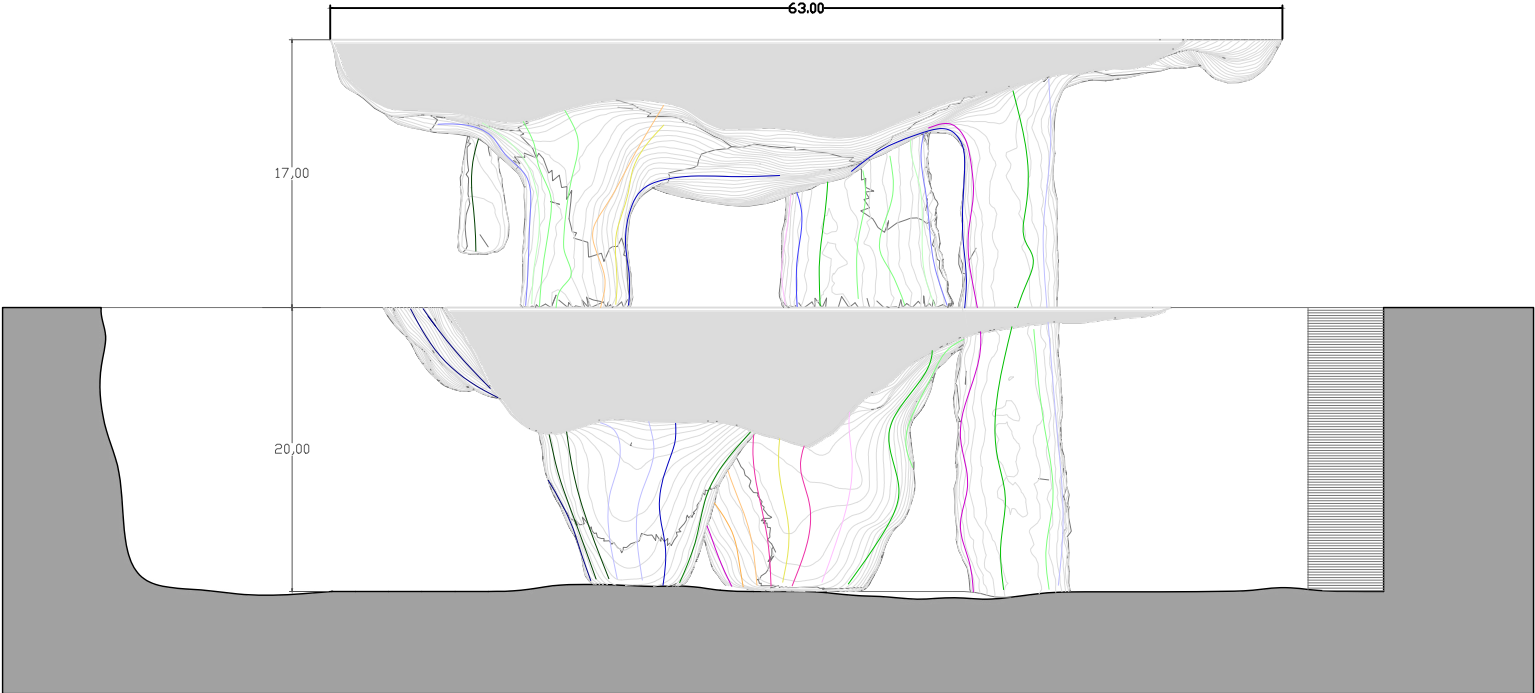
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b+
- 8c
- 9a
- 9b
- 9b+



261

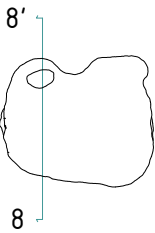
Sección 7-7'

E. 1/500





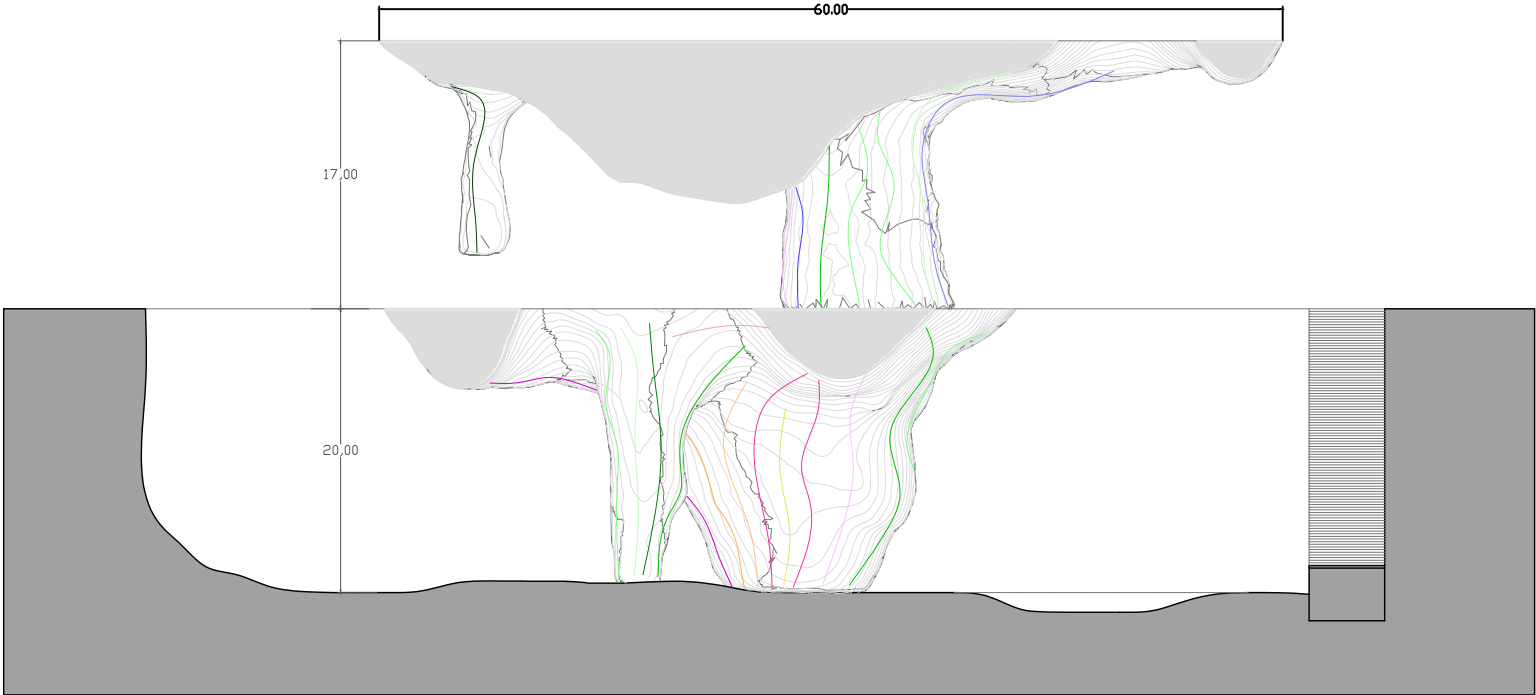
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b+
- 8c
- 9a
- 9b
- 9b+



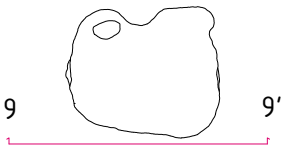
262

Sección 8-8'

E. 1/500



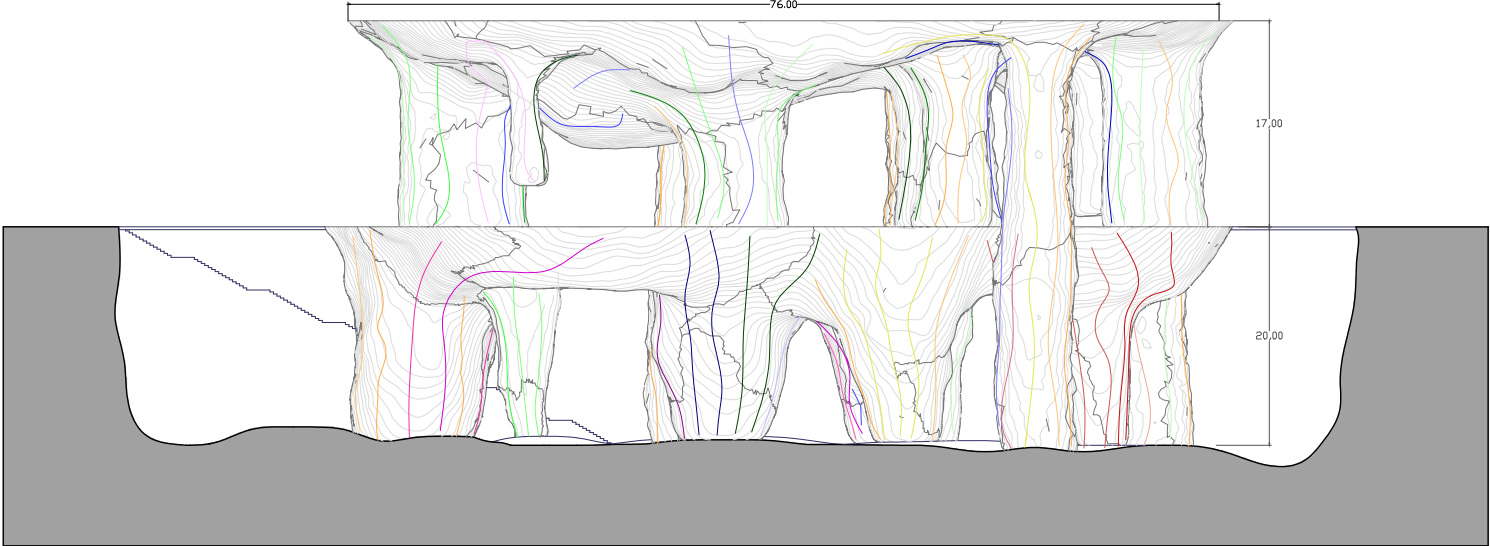
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+



263

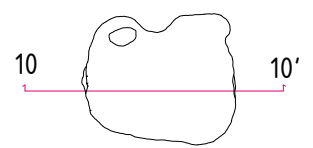
Sección 9-9'

E. 1/650



PÁG 116

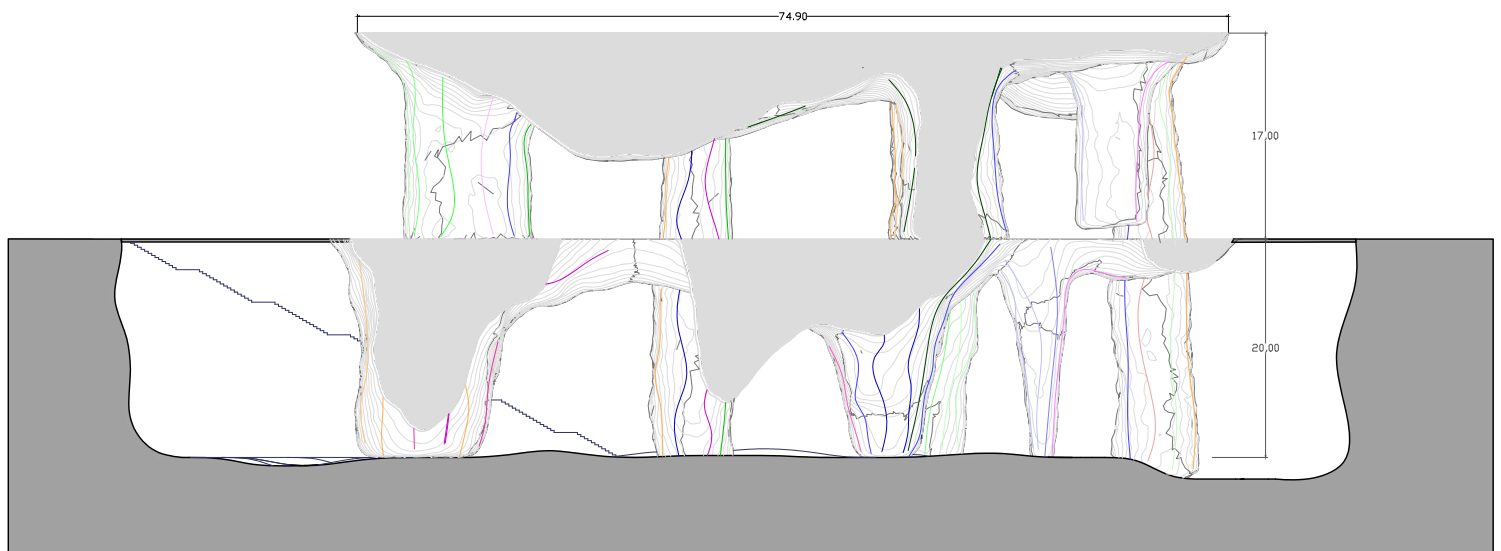
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+



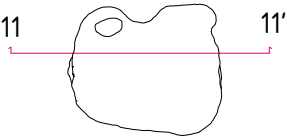
264

Sección 10-10'

E. 1/650



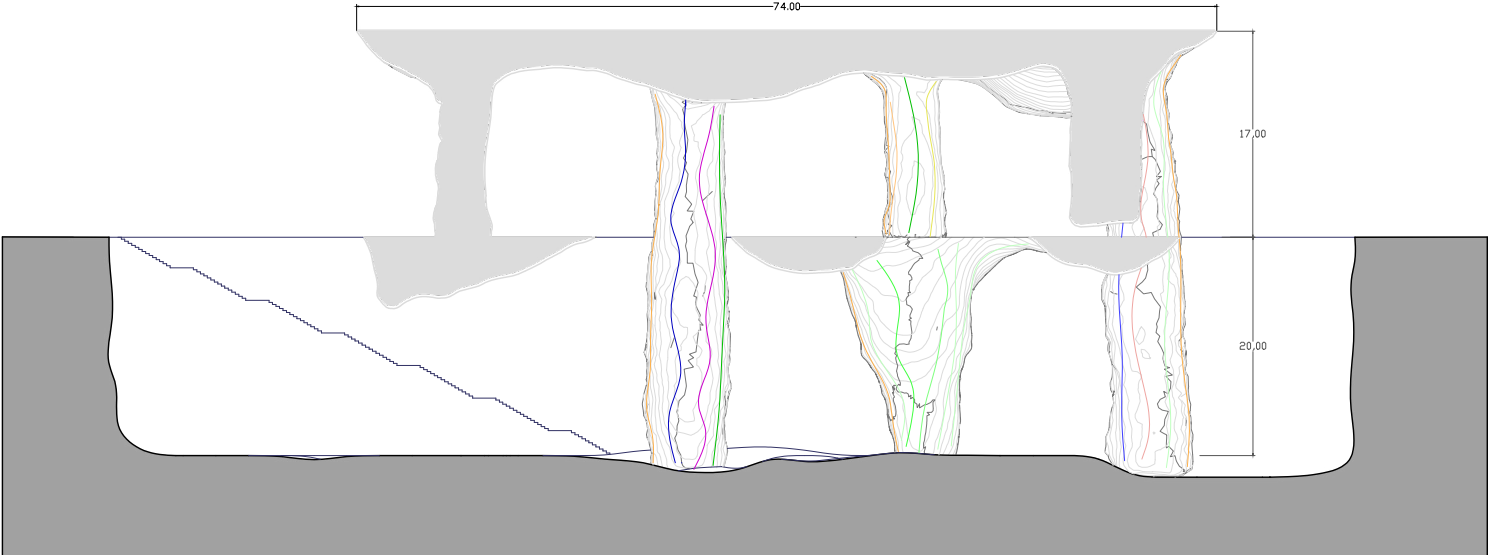
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+



25

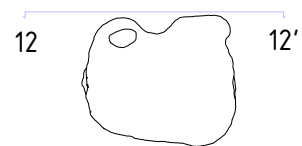
Sección 11-11'

E. 1/650



PÁG 118

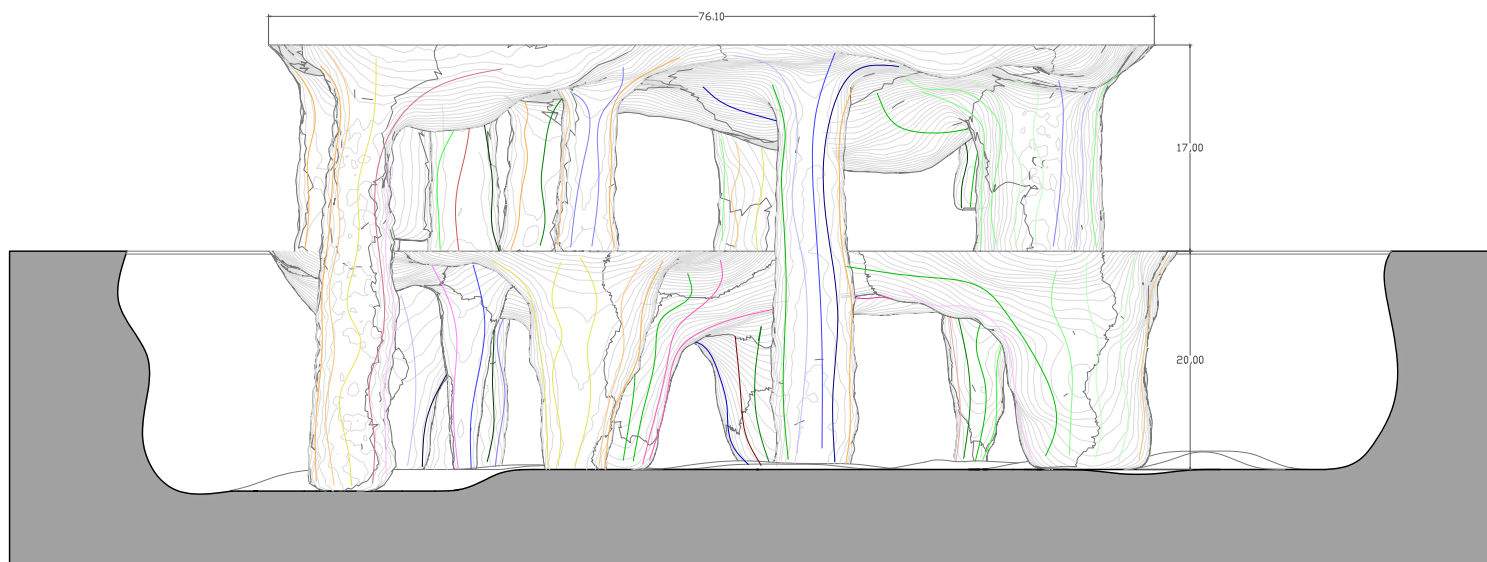
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+
- 9c



26

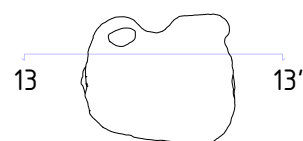
Sección 12-12'

E. 1/650



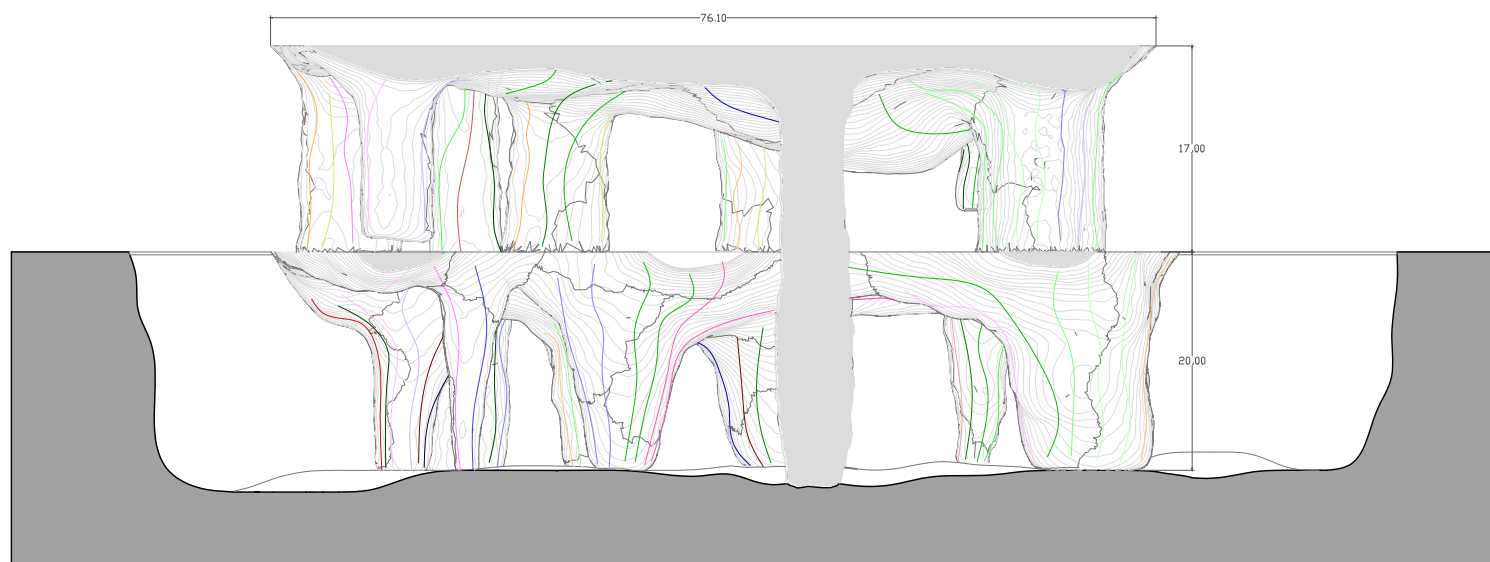


- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+
- 9c



Sección 13-13'

E. 1/650



PÁG 120

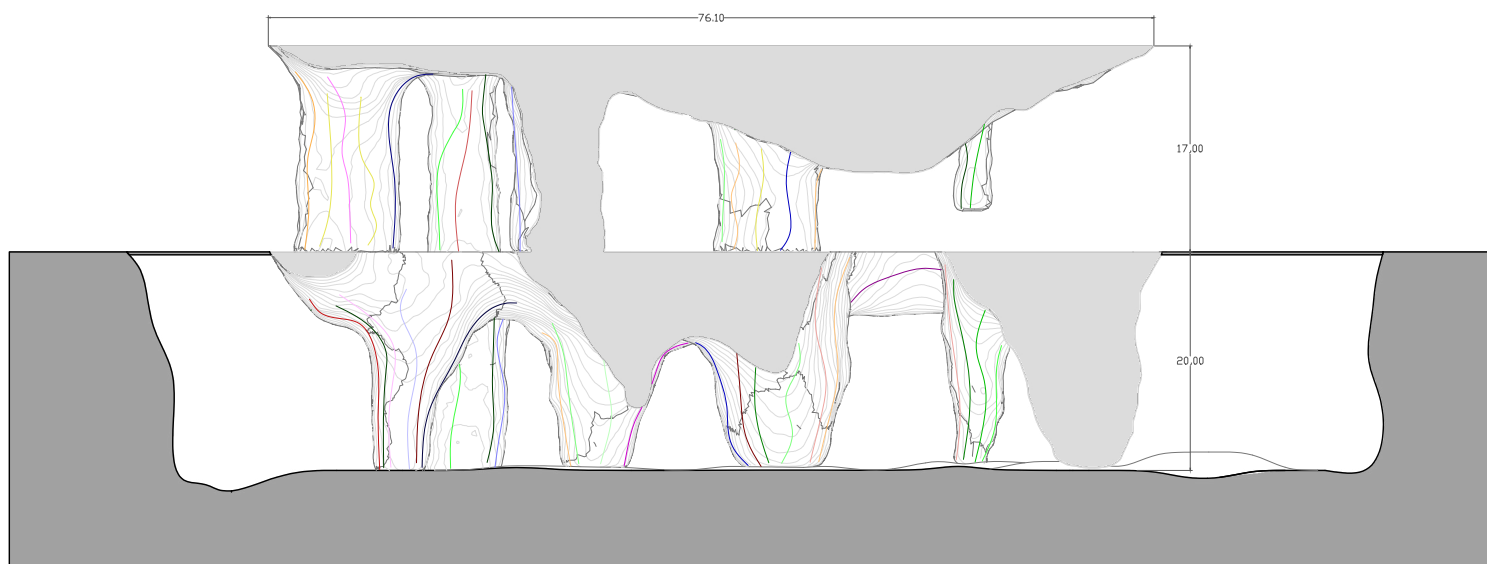
- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+
- 9c



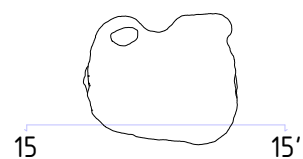
28

Sección 14-14'

E. 1/650



- V
- IV
- V+
- 6a
- 6a+
- 6b
- 6b+
- 6c
- 6c+
- 7a
- 7a+
- 7b
- 7b+
- 7c
- 7c+
- 8a
- 8a+
- 8b
- 8b+
- 8c
- 8c+
- 9a
- 9a+
- 9b
- 9b+
- 9c



29

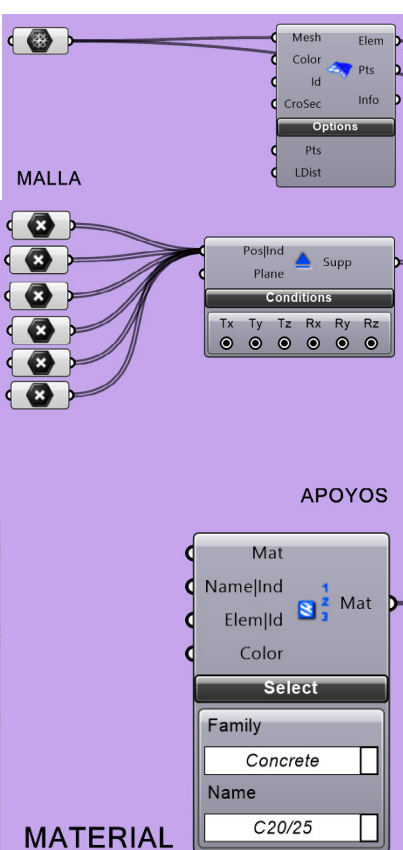
Sección 15-15'

E. 1/650



## 12. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### 12.1 PROCEDIMIENTO-GRASSHOPPER



Para obtener el análisis estructural de los diferentes modelos realizados, utilizamos la herramienta de Grasshopper, con el plug-in de Karamba, el cual es una herramienta de ingeniería estructural paramétrica que proporciona un análisis preciso de armaduras, marcos y cáscaras espaciales. Primero de todo, y con la pila "mesh to shell", pasamos la malla a una cáscara, dado que el programa no trabaja con estructuras macizas. A continuación, definimos los apoyos, cada apoyo estará formado por una gran cantidad de puntos, para así obtener una solución más real. Definimos el material, en todos los modelos se ha utilizado hormigón. En cuanto a la sección, si hablamos de la estructura ligera, tendrá una sección de espesor mínimo, pero en cuanto a las estructuras macizas, colocaremos un gran espesor, para así simular que es una estructura pesada.

A todos los modelos se le aplicarán dos fuerzas, una de ellas su peso propio, y la otra será aplicada en el centro de gravedad de la estructura calculada en el apartado posterior, esta carga será la producida por el viento. Este centro de gravedad es conocido gracias a una pila que junta todas las propiedades explicadas anteriormente y creando así el modelo deseado.

Una vez obtenido este modelo, lo convertimos en un modelo estructural y empezamos a analizarlo, para ello utilizamos las pilas "model view" y "shell view", donde se estudia el estado de la estructura, en nuestros casos hemos decidido ver la deformación, los diagramas de desplazamiento y los diagramas de esfuerzos. Obteniendo así los resultados de una hipótesis planteada a raíz de diversas cargas, apoyos, materiales y secciones.

Además, decidimos obtener las líneas isostáticas, las cuales nos van a mostrar la dirección de las tensiones principales del modelo. Estas son conseguidas mediante el punto central de cada malla, pero dado a la gran cantidad de estas, decidimos reducir estos puntos aleatoriamente.

Mat

Name|Ind

Elem|Id

Color

Select

Family

Concrete

Name

C20/25

Height [cm]

40

SECCIÓN

Family

Name

Elem|Id

Color

CroSec

Material

Height

Cross Section:

Shell Const

Factor

-1

F

Z

Y

Vec

LCase

Load

Type of Load

Gravity

Factor

181

F

Y

Y

Force

Moment

Local?

Pos|Ind

LCase

Type of Load

Point

CARGAS

Pt

Elem

Model

Support

Load

Info

CroSec

Material

Mass

Joint

Set

LDist

COG

Model

Disp

G

Energy

CREACIÓN MODELO

Pt

Elem

Model

Support

Load

Info

CroSec

Material

Mass

Joint

Set

LDist

COG

Model

Disp

G

Energy

CREACIÓN MODELO

Model

Mesh

Layer|Pnt

Source

Line1

Seg-1

dA

Line2

Type of Element

PrincStress

LÍNEAS ISOSTÁTICAS

Model

Model

R-Factors

ResCase

Colors

Ids|BReps

defMesh

defAxes

defModel

Display Scales

Deformation

50

Reactions

1

Loads

0.2

Supports

0.2

Local axes

1

Joints

1

Render Settings

Tags

Colors

Result Case

Model

Model

Layer|nd

Mesh

Legend C

Legend T

Display Scales

Local layer axes

1

Render Settings

Cross section

Utilization

Displacement

Princ. Stress 1

Princ. Stress 2

Van Mises Stress

Position of results

1

Princ. Stress 1-2

1

utilization

-34.5%

-30.0%

-25.7%

-21.4%

-17.1%

-12.9%

-8.6%

-4.3%

0.0%

1.1%

2.2%

3.3%

4.3%

5.4%

6.5%

7.6%

8.6%

SOLUCIONES



## 12.2 CARGAS

### 12.2.1 VIENTO

La carga que se ha aplicado, como se ha explicado anteriormente, es la producida por el viento, esta no será la misma para todos los modelos por lo que procedemos a explicar el procedimiento.

Esta se ha obtenido siguiendo los pasos del Documento Básico DB SE-AE:

Definimos la acción del viento como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

$q_b$ =la presión dinámica del viento

$c_e$ =el coeficiente de exposición

$c_p$ =el coeficiente eólico o de presión

Para la presión dinámica, dependerá de la velocidad del viento en cada localidad, dado que nuestro proyecto está ubicado en Anna, su velocidad será de 0,42 km/h, perteneciendo así a la zona A. Este será aplicado a todos los modelos.

En cuanto al coeficiente de exposición, utilizamos la fórmula  $c_e = F \cdot (F + 7 k)$ , donde  $F = k \ln (\max (z, Z) / L)$  siendo  $k$ ,  $L$ ,  $Z$  parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla D.2 Estos datos cambiarán en función del modelo a estudiar.

Finalmente,  $c_p$  dependerá de la esbeltez en el plano paralelo del viento, y de si este actúa a método de succión o de presión, en todos los modelos hemos decidido que actúa como presión, y además, consideramos que a pesar de que los modelos están empotrados en su contacto con el terreno, serán biempotrados, debido a su gran cantidad de material y a su capacidad nula de giro. Por lo que  $c_p=0,7$  en todos los casos.

Pasamos a calcular los cuatro modelos realizados:

## ESTRUCTURA LIGERA

Datos:

Altura= 8m Área del alzado sobre el cual se le aplica la carga= 46,57m<sup>2</sup>

qb=0,42 cp=0,7

Coeficientes para tipo de entorno: esta estructura pertenece al tipo IV, debido a su ubicación actual, pero dado que no está situado en España le aplicaremos la misma presión dinámica que el resto de modelos.

K= 0,22 L=0,3m Z=5,0m

Por tanto:

$F = k \ln (\max (z,Z) / L) = 0,22 \cdot \ln(8/0,3) = 0,72$

$ce = F \cdot (F + 7 k) = 0,72 \cdot (0,72 + 7 \cdot 0,22) = 1,62$

$qe = qb \cdot ce \cdot cp = 0,42 \cdot 1,62 \cdot 0,7 = 0,48 \text{ KN/m}^2$

$q = 0,48 \text{ KN/m}^2 \cdot 46,57 \text{ m}^2 = 22,35 \text{ KN}$ , convirtiendo así la carga adquirida en un carga puntual.

## ESTRUCTURA MACIZA 1

Datos:

Altura= 35 m Área del alzado sobre el cual se le aplica la carga= 743,15m<sup>2</sup>

qb=0,42 cp=0,7

Coeficientes para tipo de entorno: esta estructura pertenece al tipo IV, debido a su ubicación forestal.

K= 0,22 L=0,3m Z=5,0m

Por tanto:

$F = k \ln (\max (z,Z) / L) = 0,22 \cdot \ln(35/0,3) = 1,04$

$ce = F \cdot (F + 7 k) = 1,04 \cdot (1,04 + 7 \cdot 0,22) = 2,68$

$qe = qb \cdot ce \cdot cp = 0,42 \cdot 2,68 \cdot 0,7 = 0,79 \text{ KN/m}^2$

$q = 0,79 \text{ KN/m}^2 \cdot 743,15 \text{ m}^2 = 587,09 \text{ KN}$ , convirtiendo así la carga adquirida en un carga puntual.

## ESTRUCTURA MACIZA 2

Datos:

Altura= 15 m Área del alzado sobre el cual se le aplica la carga= 1253,76 m<sup>2</sup>

qb=0,42 cp=0,7

Coeficientes para tipo de entorno: esta estructura pertenece al tipo IV, debido a su ubicación forestal.

K= 0,22 L=0,3m Z=5,0m

Por tanto:

$F = k \ln (\max (z, Z) / L) = 0,22 \cdot \ln(15/0,3) = 0,86$

$ce = F \cdot (F + 7 k) = 0,86 \cdot (0,86 + 7 \cdot 0,22) = 2,06$

$qe = qb \cdot ce \cdot cp = 0,42 \cdot 2,06 \cdot 0,7 = 0,61 \text{ KN/m}^2$

$q = 0,61 \text{ KN/m}^2 \cdot 1253,76 \text{ m}^2 = 764,79 \text{ KN}$ , convirtiendo así la carga adquirida en un carga puntual.

## MAQUETA FINAL

Datos:

Altura= 37 m Área del alzado sobre el cual se le aplica la carga= 2185,81 m<sup>2</sup>

qb=0,42 cp=0,7

Coeficientes para tipo de entorno: esta estructura pertenece al tipo IV, debido a su ubicación forestal.

K= 0,22 L=0,3m Z=5,0m

Por tanto:

$F = k \ln (\max (z, Z) / L) = 0,22 \cdot \ln(37/0,3) = 1,06$

$ce = F \cdot (F + 7 k) = 1,06 \cdot (1,06 + 7 \cdot 0,22) = 2,76$

$qe = qb \cdot ce \cdot cp = 0,42 \cdot 2,76 \cdot 0,7 = 0,81 \text{ KN/m}^2$

$q = 0,81 \text{ KN/m}^2 \cdot 2185,81 \text{ m}^2 = 1770,51 \text{ KN}$ , convirtiendo así la carga adquirida en un carga puntual.

## 12.2.2 PESO PROPIO

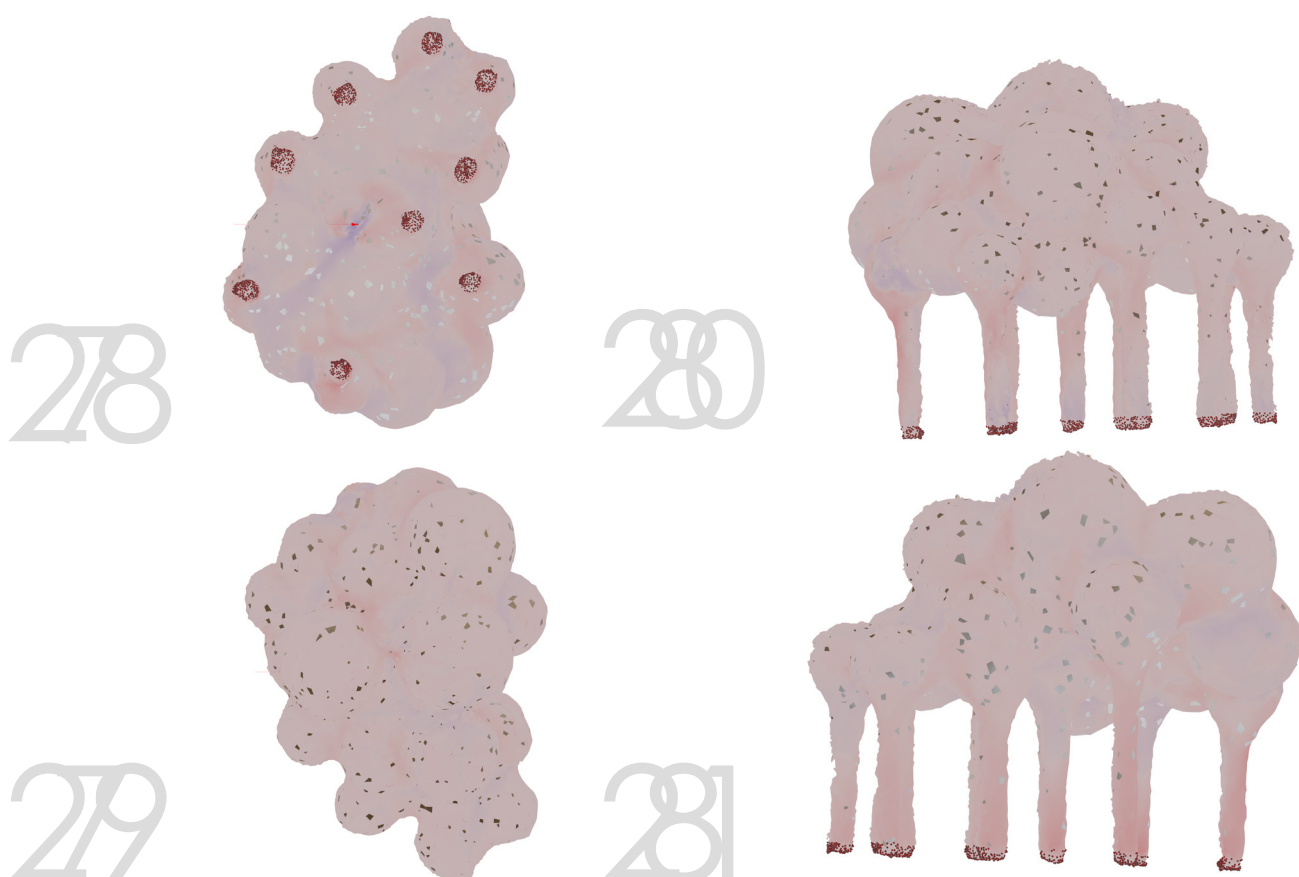
Además de la carga del viento, incluimos la carga producida por el peso propio, esta será introducida mediante una carga de gravedad proporcionada por el programa. Lo único que tenemos que tener en cuenta es su dirección, ya que principalmente se coloca en el sentido positivo del eje z.

## 12.3 RESULTADOS

Una vez explicado el procedimiento de la herramienta con la cual vamos a obtener los diferentes resultados, y las diferentes fuerzas aplicadas, en este caso, el viento y el peso propio. Definimos en todos los modelos los apoyos, todos ellos serán empotrados y estarán formados por una gran cantidad de puntos, para así conseguir una solución más cercana a la realidad y una estructura con mayor precisión. De los tres primeros modelos, es decir, de la estructura ligera, y de las dos primeras estructuras macizas, obtendremos su desplazamiento, las diferentes tensiones (Von Mises), las líneas isostáticas, y su deformación, esta última será exagerada para poder observar como se deformaría. En cuanto a la maqueta final añadiremos a estos resultados su aprovechamiento, las tensiones normales y tangenciales.

### 12.3.1 ESTRUCTURA LIGERA

#### 12.3.1.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (VON MISES)

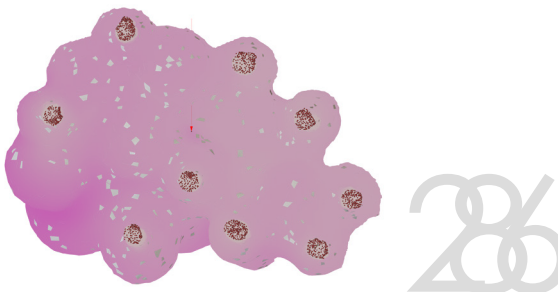
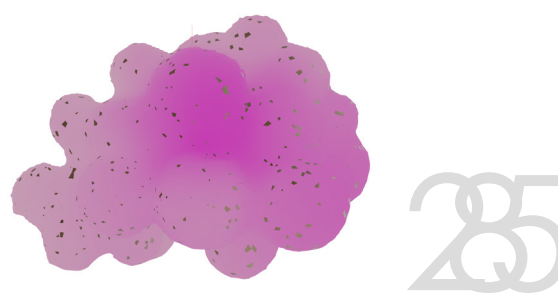




stress[kN/cm2]
-5.85e-01
-5.12e-01
-4.39e-01
-3.66e-01
-2.93e-01
-2.19e-01
-1.46e-01
-7.32e-02
0.00e+00
9.20e-02
1.84e-01
2.76e-01
3.68e-01
4.60e-01
5.52e-01
6.44e-01
7.36e-01



12.3.1.2 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS







res.disp.[cm]
0.00e+00
6.99e-03
1.40e-02
2.10e-02
2.79e-02
3.49e-02
4.19e-02
4.89e-02
5.59e-02
6.29e-02
6.99e-02
7.68e-02
8.38e-02
9.08e-02
9.78e-02
1.05e-01
1.12e-01

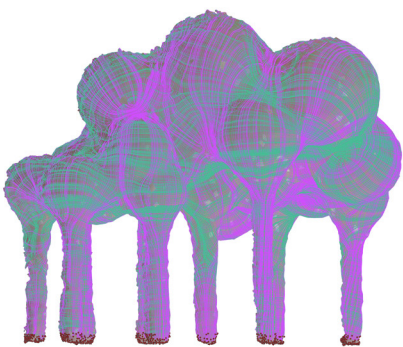
12.3.1.3 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN



#### 12.3.1.4 LÍNEAS ISOSTÁTICAS



24



25



26

En cuanto a las tensiones de Von Mises, observamos que gran parte del modelo trabaja a compresión, donde podemos destacar los pilares, los cuales tienen un rojo un poco más intenso, encontramos tracciones en las uniones de las diferentes esferas. Además, resaltamos el punto donde aplicamos la carga de viento, donde sus alrededores estarán traccionados, y en el punto exacto comprimidos. Estas tensiones no superan los 20 KN/cm<sup>2</sup>, no hay una gran diferencia entre el valor de las compresiones y de las tracciones.

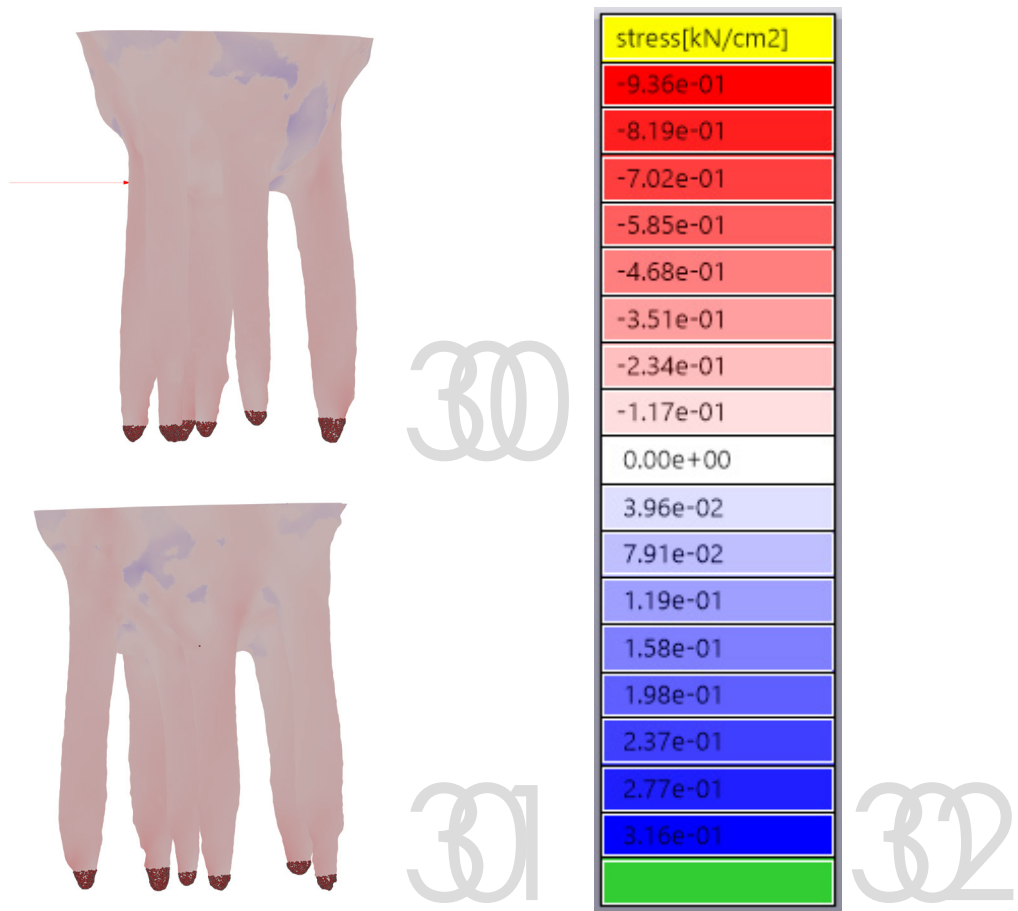
Si hablamos de desplazamiento, vemos que las zonas las cuales tienden a desplazarse son las esferas de grandes proporciones y las cuales descuelgan un poco, el máximo valor de desplazamiento es de 2 cm. En las deformaciones observamos que el modelo se deformaría en la misma dirección que la fuerza aplicada.

También añadimos las líneas isostáticas, observando así las por donde van dirigidas las tensiones de compresión y las de tracción.

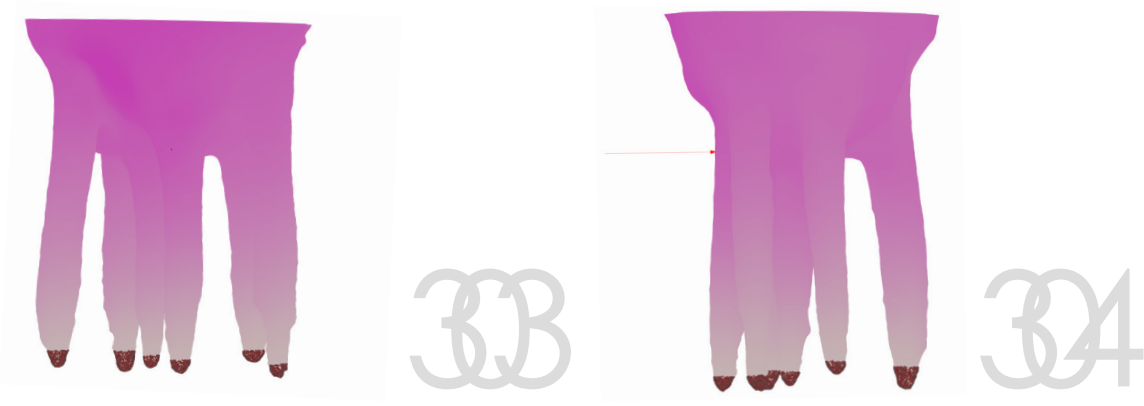
12.3.2 ESTRUCTURA PESADA 1

12.3.2.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (VON MISES)





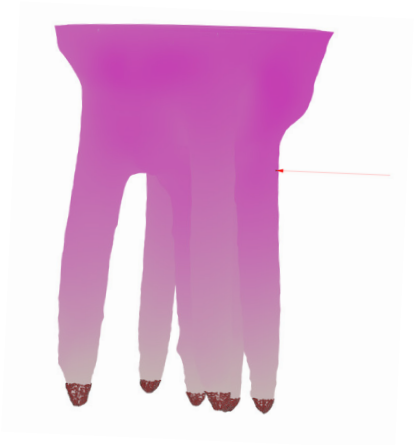
12.3.2.2 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS



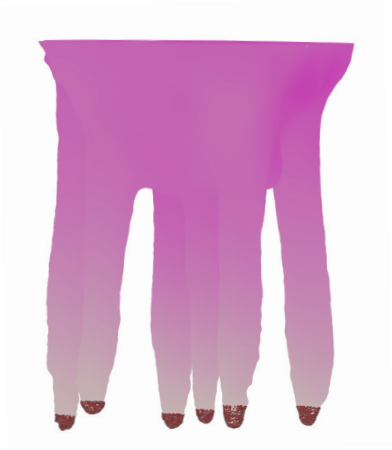
35



36



37

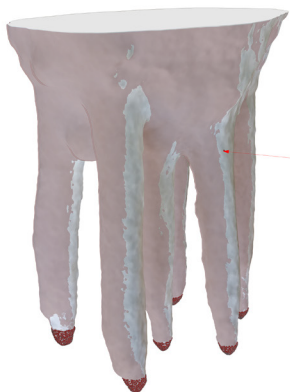


38

res.disp.[cm]
0.00e+00
2.36e-02
4.72e-02
7.08e-02
9.44e-02
1.18e-01
1.42e-01
1.65e-01
1.89e-01
2.12e-01
2.36e-01
2.60e-01
2.83e-01
3.07e-01
3.31e-01
3.54e-01
3.78e-01



### 12.3.2.3 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN



309

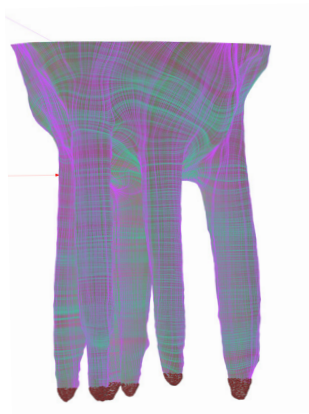


310

### 12.3.2.4 LÍNEAS ISOSTÁTICAS



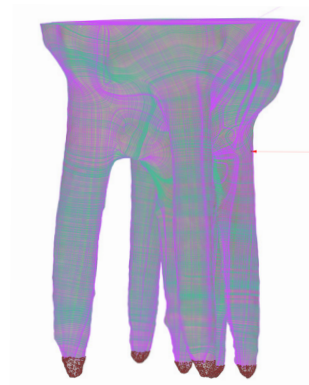
311



313



312



314

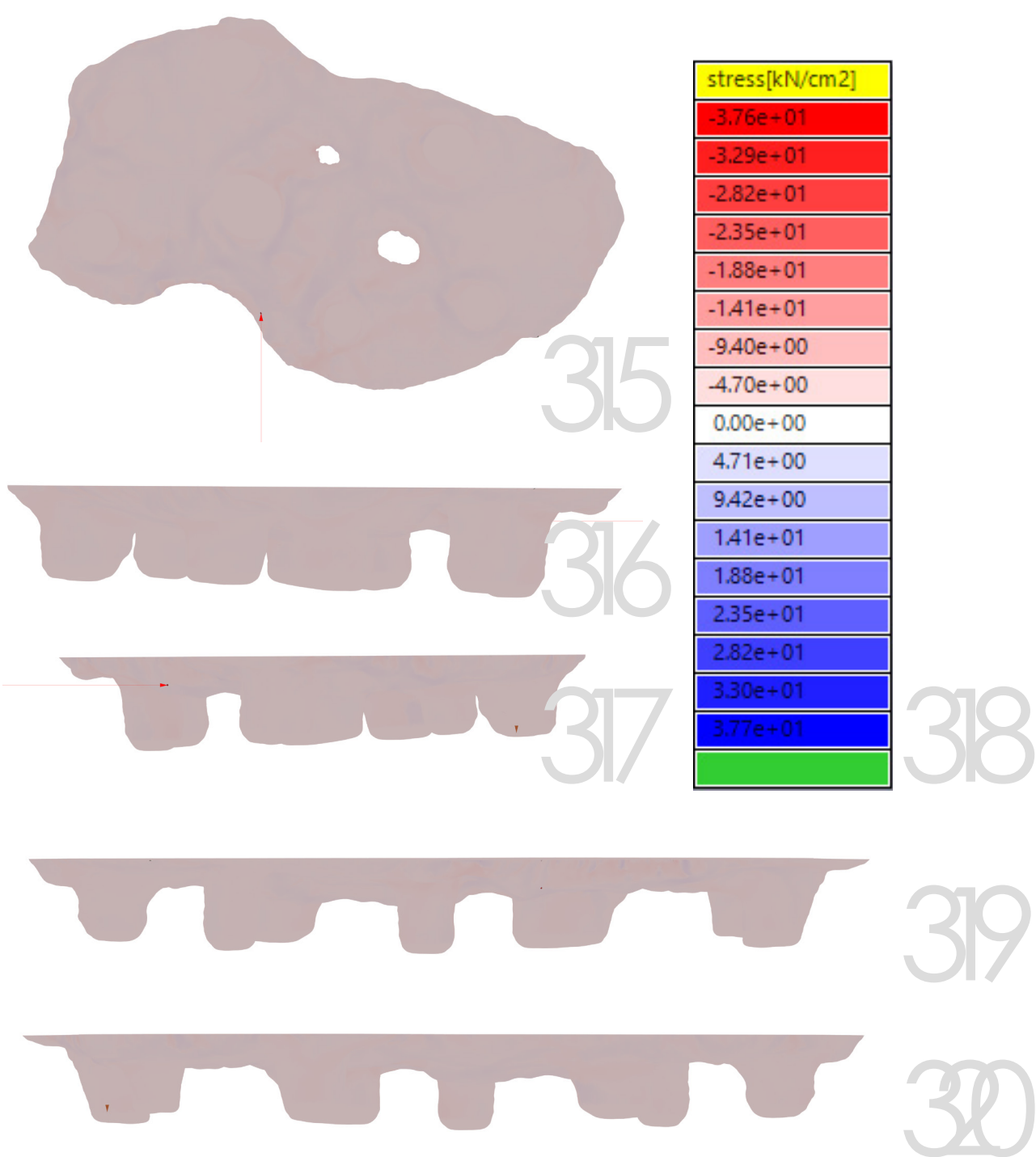
Al igual que en caso anterior, empezamos por las tensiones de Von Mises, aquí destacan las compresiones, lo podemos ver en las imágenes y en los valores, ya que los pilares tienen que soportar la parte maciza. En esta encontramos zonas las cuales trabajan a tracción, se observa mejor en la vista de planta.

En cuanto a los desplazamientos, el color se hace más intenso conforme la altura, debido a su forma y a su peso propio. Es una estructura inestable, por tanto, el punto más alejado del terreno puede llegar a desplazarse unos 9 cm.

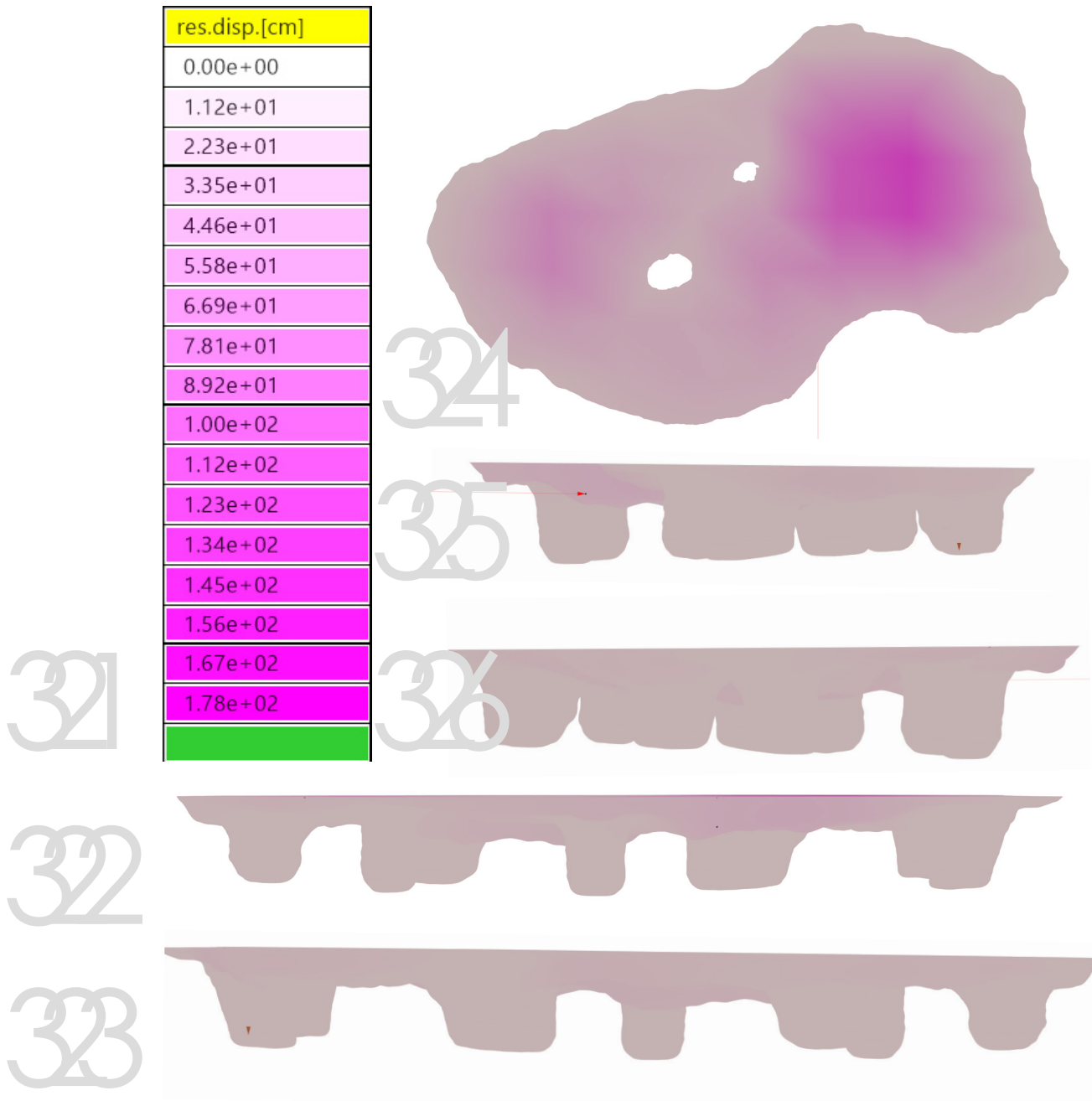
Su deformación será también en la dirección del viento, se deformará gran parte de ella debido a que sus apoyos son muy cercanos entre sí.

Y finalmente añadimos las imágenes de las líneas isostáticas, para ver qué recorrido tienen las diferentes tensiones.

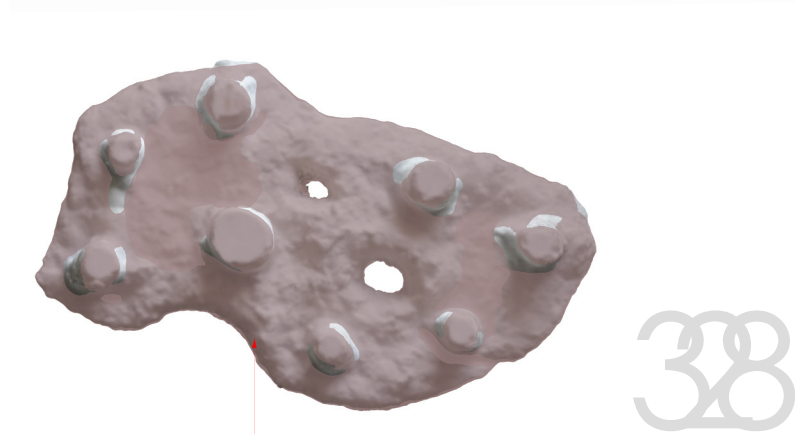
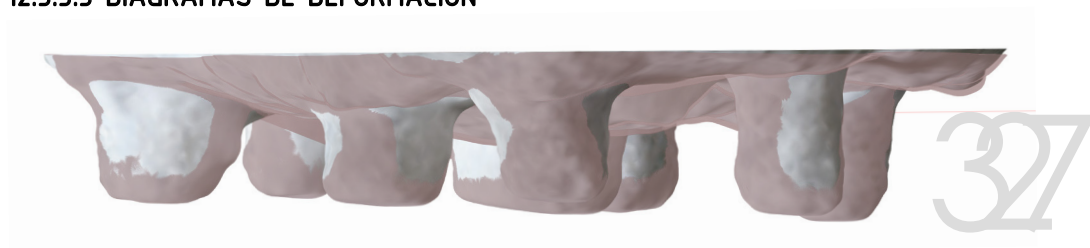
12.3.3 ESTRUCTURA PESADA 2  
12.3.3.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (VON MISES)



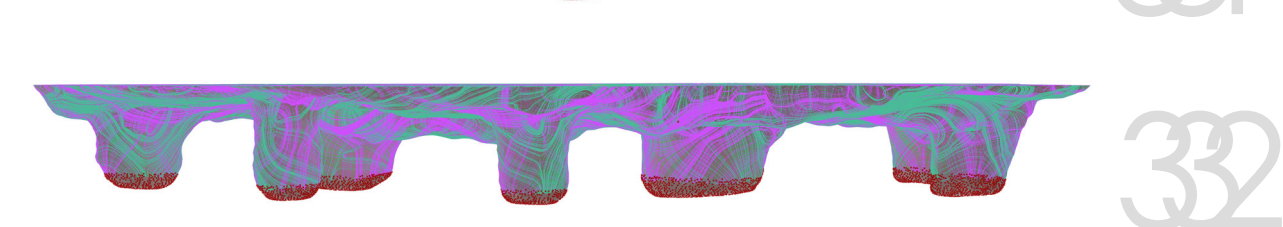
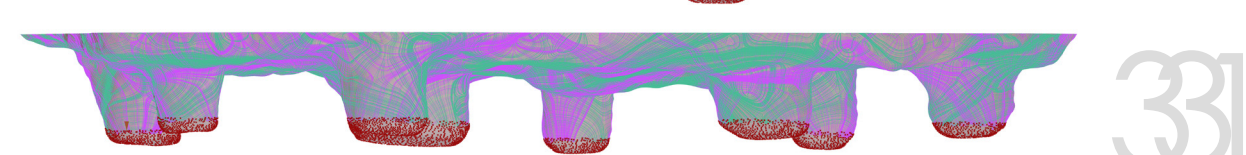
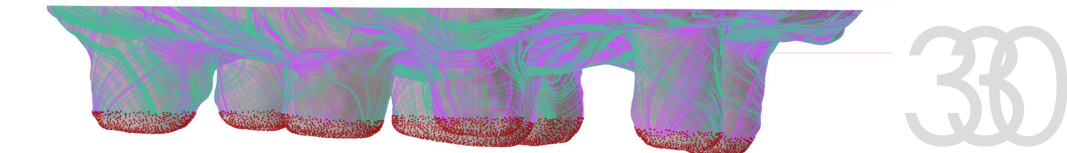
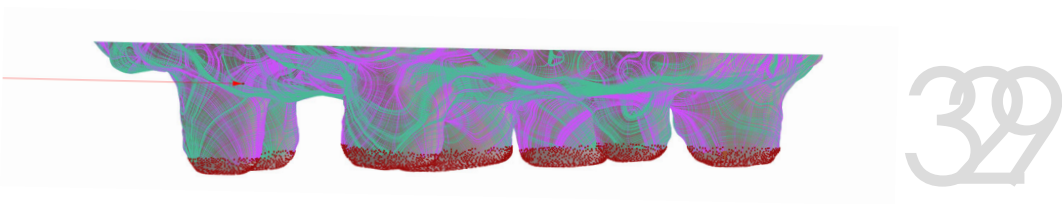
12.3.3.2 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS



### 12.3.3.3 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN

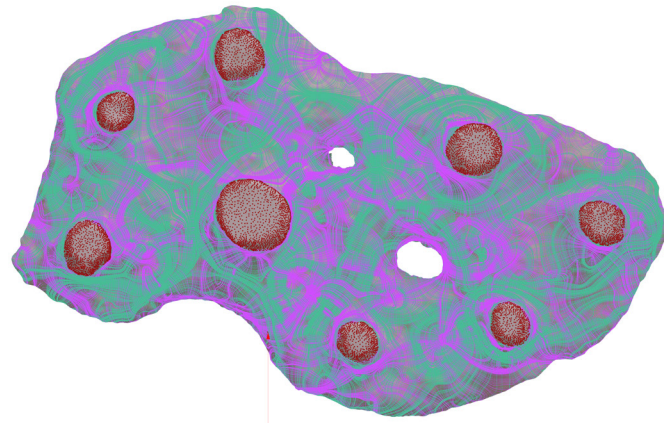


### 12.3.3.4 LÍNEAS ISOSTÁTICAS





333



Este modelo es más difícil de diferenciar en cuanto a sus tensiones. Predominan las compresiones, y difícilmente encontramos tracciones, se pueden observar en algún alzado y en planta, esta última es donde más se visualizan, se encuentran en los alrededores de los distintos pilares. Es difícil de diferenciar por sus pequeños valores. Además, dada su forma, su peso propio va a estar repartido entre todos los apoyos del modelo, lo que hace que no tenga valores tan elevados.

Si hablamos de desplazamiento, observamos que tiene dos puntos más distinguidos, estas son las zonas donde la zona descuelga más, para así introducir diversos desplomes en el modelo, estos también se destacan en las deformaciones, además del pequeño voladizo.

A causa de su poca visualización, con las líneas isostáticas podemos entender mejor cómo funciona el modelo.

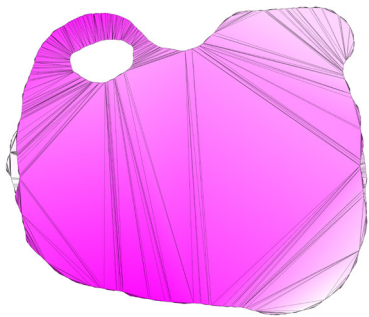
PÁG 140

## 12.3.4 ESTRUCTURA FINAL

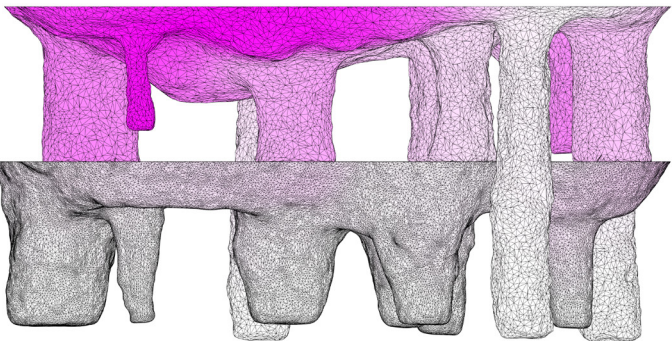
### 12.3.4.1 DIAGRAMAS DESPLAZAMIENTOS



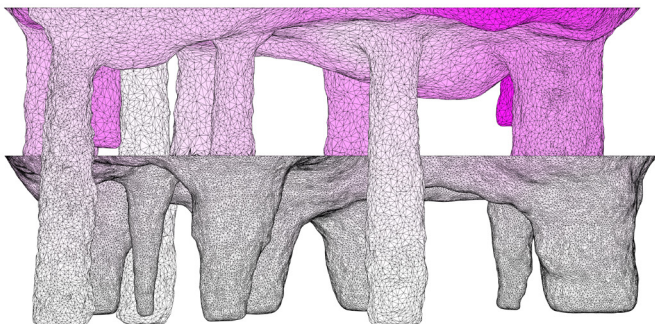
334



335



336



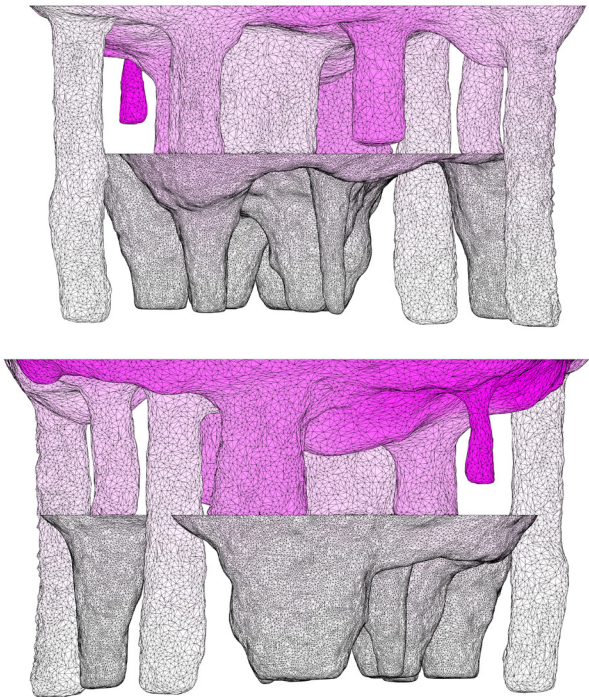
337

338

res.disp.[cm]
0.00e+00
3.44e-01
6.87e-01
1.03e+00
1.37e+00
1.72e+00
2.06e+00
2.40e+00
2.75e+00
3.09e+00
3.44e+00
3.78e+00
4.12e+00
4.47e+00
4.81e+00
5.15e+00
5.50e+00

339

340



12.3.4.2 DIAGRAMAS DE DEFORMACIÓN



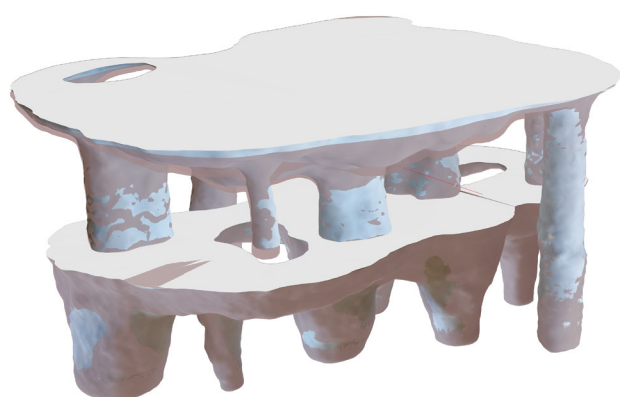
PÁG 142



343

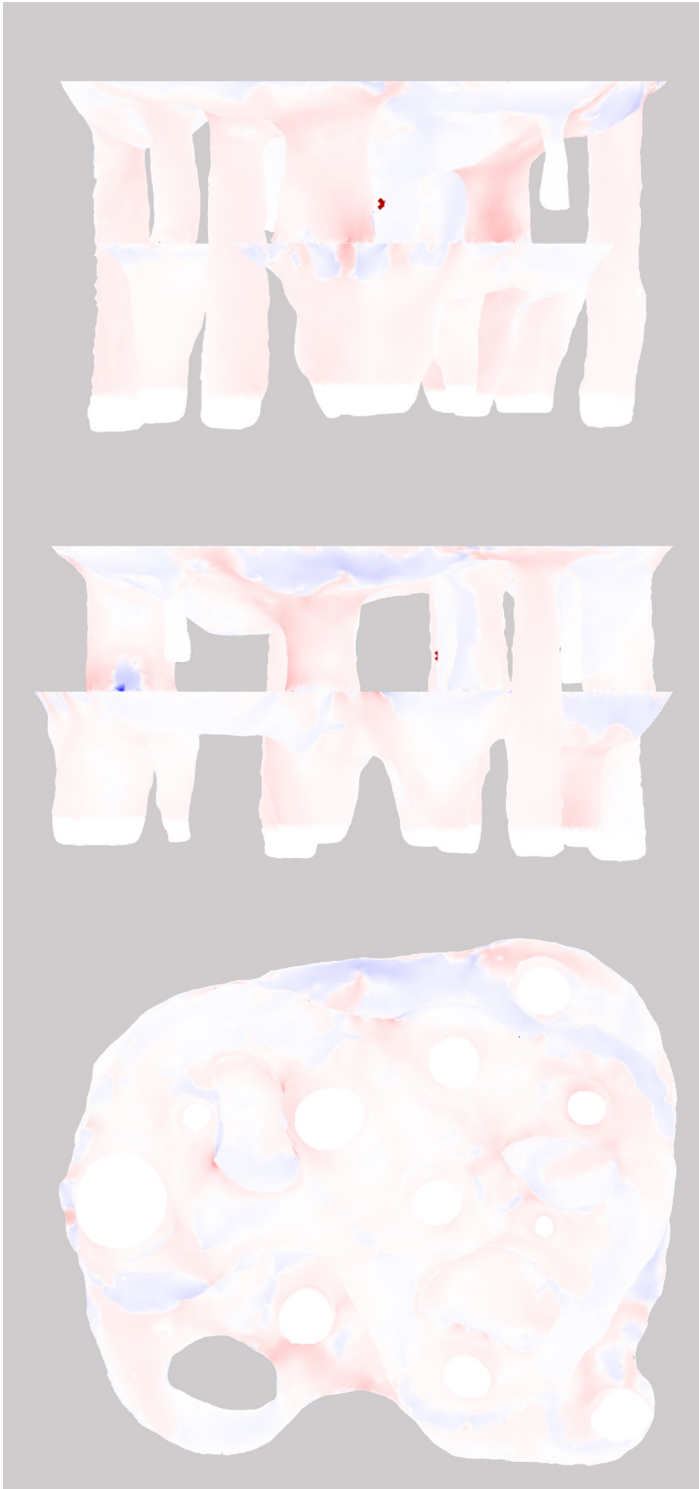


344



345

12.3.4.3 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (VON MISES)







350

351

#### 12.3.4.4 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (TENSIONES NORMALES)



352

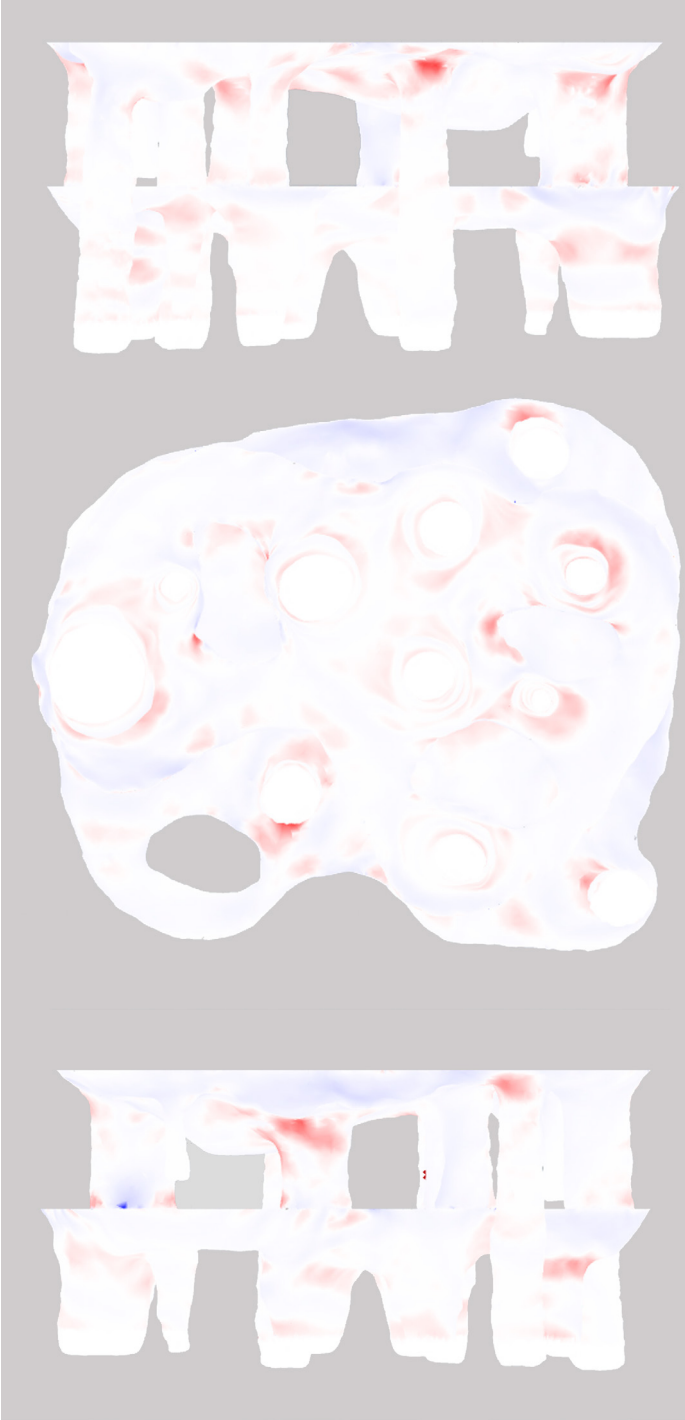
353

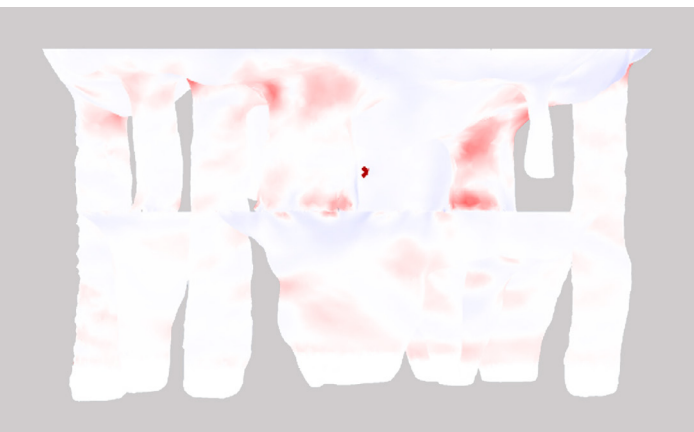
stress[kN/cm2]
-4.68e+00
-4.09e+00
-3.51e+00
-2.92e+00
-2.34e+00
-1.75e+00
-1.17e+00
-5.85e-01
0.00e+00
2.89e+00
5.78e+00
8.67e+00
1.16e+01
1.45e+01
1.73e+01
2.02e+01
2.31e+01

354

355

356





357

#### 12.3.4.5 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS (TENSIONES TANGENCIALES)



358

359

360

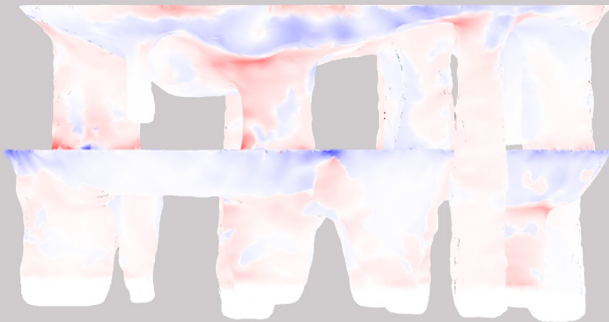
stress[kN/cm2]
-2.34e+01
-2.05e+01
-1.76e+01
-1.46e+01
-1.17e+01
-8.78e+00
-5.85e+00
-2.93e+00
0.00e+00
1.24e+00
2.47e+00
3.71e+00
4.94e+00
6.18e+00
7.42e+00
8.65e+00
9.89e+00

361

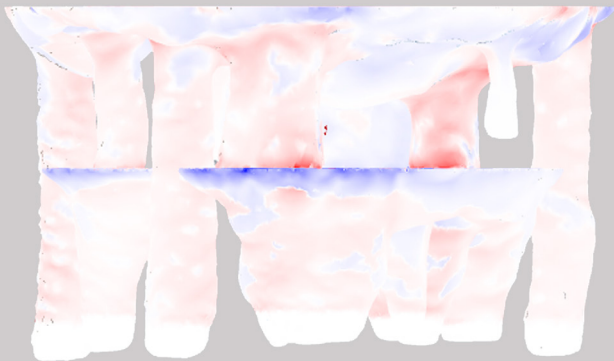
362

363

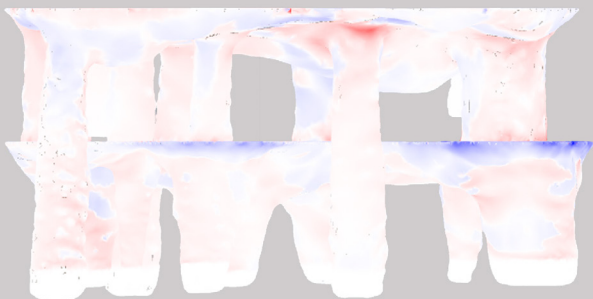




364



365



366

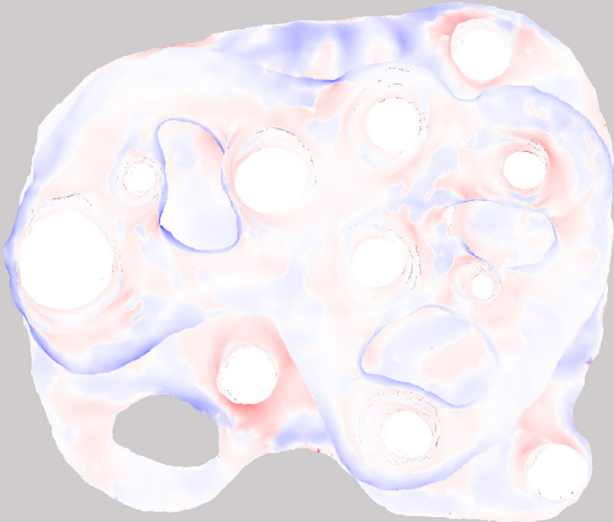


utilization
-1615.4%
-1413.4%
-1211.5%
-1009.6%
-807.7%
-605.8%
-403.8%
-201.9%
0.0%
193.1%
386.2%
579.3%
772.5%
965.6%
1158.7%
1351.8%
1544.9%

368

369

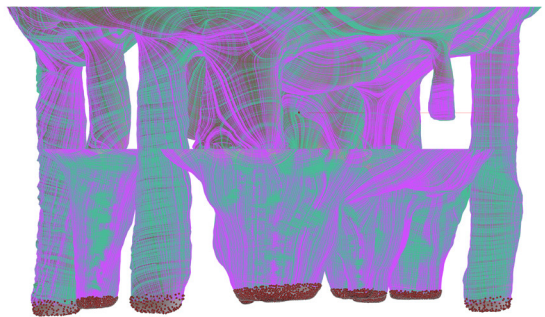
370



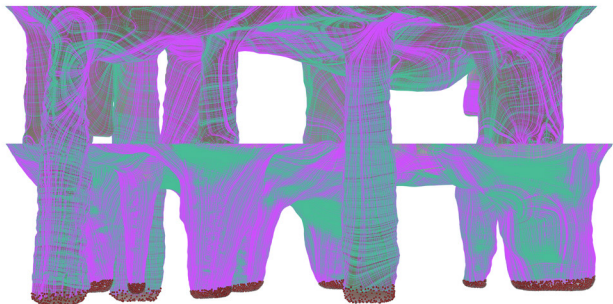
### 12.3.4.7 LÍNEAS ISOSTÁTICAS



3/1



3/2



3/3



3/4

Primero vamos a hablar del desplazamiento, donde resalta la primera planta, destacamos los dos pilares que no están en contacto con la planta inferior, que debido a su peso tenderán a desplazarse, los cuales llegarían a moverse 14 cm, que si pensamos en las dimensiones del modelo, apenas sería visible al ojo humano. También destacamos el voladizo y la parte que descuelga, que al igual que el modelo anterior, ha sido realizada para crear más desplomes. Observamos como la planta inferior apenas se desplazaría, debido a que no tiene grandes voladizos, y además está comprimida por la planta superior. Si observamos las deformaciones, vemos que estas coinciden con el desplazamiento de los pilares mencionados anteriormente y de la parte constituida por una gran masa, en este caso, el viento no afecta al modelo debido a sus grandes dimensiones, el peso propio es superior a la fuerza del viento. En cuanto a las tensiones de Von Mises, observamos como todos los pilares están comprimidos, y donde los voladizos y las zonas donde descuelga su masa estarán traccionadas, además encontramos zonas blancas, esto no quiere decir que no tenga ni tracciones ni compresiones, sino que su tensión es tan pequeña que la gama de colores no es tan grande como para diferenciarla. Para ello comprobamos uno de los pilares que no están en contacto con la planta inferior, elegimos el caracterizado por grandes dimensiones, ya que si su tensión es pequeña, el del otro elemento también lo será. Sacamos su tensión

$$S = Gk / A_s = P_p \cdot V / A_s = 366,26 \text{ m}^3 \cdot 25 \text{ KN/m}^3 / 412100 \text{ cm}^2 = 0,022 \text{ KN/cm}^2$$

Siendo  $P_p$  su peso propio,  $V$  su volumen y  $A_s$  su sección. Por lo que es una tensión tan pequeña que no es captada por el programa.

En estas zonas donde la masa descuelga irá colocada una armadura, ya que aquí el hormigón debe estar reforzado, es decir, donde las tensiones y las compresiones son elevadas también dotaremos al hormigón de armadura.

En este caso vamos a diferenciar las tensiones normales y las tangenciales. En el primer caso observamos como si que hay zonas que destacan sobre otras, tanto hablando de tracción como de compresión. En cambio en las tensiones tangenciales destaca en todo el modelo la compresión, en ambos casos encontramos zonas blancas, en las cuales, ocurre lo mismo que en Von Mises, son valores tan pequeños que el mismo programa no es capaz de captarlas.

Por otro lado añadimos la utilización del material, observamos que tanto las zonas de compresión como de tracción están por encima de su 100%, llegando a valores de 1500%, esto se debe a que en el programa se ha introducido como hormigón en masa, por lo que el material rompería, no sería capaz de soportar los esfuerzos a los que está sometida. En la realidad, se utilizará hormigón armado, por lo que obtendremos un valor más inferior, donde también podríamos cambiar la resistencia del material. También habrá zonas que estén por debajo de estas, pero como hay valores tan grandes, no serán captados.

Finalmente introducimos, al igual que en los casos anteriores, las líneas isostáticas, para entender mejor el funcionamiento de la estructura.

## 13. CONCLUSIONES

De las diferentes maquetas podemos concluir lo siguiente: En cuanto a la primera maqueta pesada llegamos a la conclusión de que si aligeramos la parte superior, el centro de gravedad descenderá, por lo que será más fácil evitar su vuelco. Además si los diferentes pilares estuvieran más abiertos, aumentando así su estabilidad, también impediremos el vuelco causado por fuerzas externas, en este caso el viento.

Si hablamos de la segunda maqueta maciza, sería complicado que esto ocurriera dado su bajo centro de gravedad, su baja altura y su distribución de los apoyos, dado que en este modelo predomina el eje x, y en el primero el eje z.

Respecto a la estructura ligera, como vemos en los diagramas esta volcará hacia el lado donde las esferas sobresalen más, dado que esta es una aproximación, se podría igualar la colocación de estas piezas, obteniendo una solución más equitativa. A pesar de estar formada por una cáscara de hormigón, no volcará por el viento debido a su geometría.

A raíz de estos modelos realizados, se realiza una nueva maqueta, la cual es una mezcla de las anteriores, y a la vez intenta introducir nuevas características respecto a movimientos y agarres. Esta geométricamente, tendrá grandes dimensiones, y dado que es maciza, no se verá afectada por el viento, sino que será su propio peso quien creará deformaciones. Si nos fijamos, todos los pilares de la planta superior tienen continuidad con los pilares inferiores, así las cargas serán pasadas al terreno sin complicaciones. Esta maqueta en la realidad sería creada con hormigón armado, como hemos explicado en apartados anteriores, pero dada su complejidad, en este proyecto solo será mencionado donde iría su colocación, es decir, en las zonas con grandes tracciones y compresiones, y en las zonas donde la masa descuelga. También destaca por la materia prima del lugar, esta es una de las razones por la que hemos querido ubicarla.



Obteniendo finalmente, un rocódromo basado en la escalada deportiva, apto para todo tipo de escaladores, dotado de todo tipo de agarres, dando pie a diferentes movimientos y estilos de escalada. Además, estaríamos creando una nueva forma de rocódromos, dando a conocer cada vez más esta disciplina y potenciando tanto el lugar donde se ha situado como otras zonas.

De todos los modelos nos ha parecido interesante colocar las líneas isostáticas, ya que es una nueva manera de entender su funcionamiento, y el recorrido de tracciones y compresiones.

En relación a todo el proyecto, podemos destacar que principalmente tiene una gran dificultad el poder plasmar la experiencia personal, ya no solo la mía en concreto, sino la del resto de escaladores, por su gran cantidad de experiencias y gustos. Es por esto, que se ha utilizado los diagramas circulares para llegar a la solución óptima, empezando desde el primer momento a ser un trabajo visual. Esto también se debe a que es un deporte poco conocido en la sociedad, por lo que su breve introducción a esta disciplina debe ir acompañada con imágenes, para así facilitar su entendimiento.

Acerca de las diferentes maquetas, destaca el trabajo experimental, creando así un proyecto basado en la experiencia personal y en la experimentación a través de modelos. La realización de todos ellos también conlleva su tiempo, debido a que son materiales que necesitan un determinado tiempo de secado. Y más adelante la realización de su fotogrametría también es caracterizado por ser un proceso largo.

Asimismo, he tenido que aprender a utilizar una nueva herramienta paramétrica, entendiendo así, el funcionamiento de sus pilas. Con este programa se obtienen los diferentes diagramas, haciendo de todo el trabajo, un trabajo gráfico respecto al campo de las estructuras.

Finalmente, obtenemos este proyecto basado en tipologías opuestas, ya que actualmente la gran mayoría de rocódromos están contruidos mediante estructuras ligeras, por lo que queremos crear un proyecto diferente, algo más natural y accesible para todo el mundo.

## ARTÍCULOS

Del Cueto Ruiz Funez, J. I. (1997). *Félix Candela, el mago de los cascarones de concreto*. Arquine, revista internacional de arquitectura (núm. 2).  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1925/3.pdf?sequence=1>

## BLOGS

Presasge (14 de octubre de 2019). *Tipos de presas de escalada*. presasg8.es  
<https://presasg8.es/blog/tipos-de-presas-de-escalada/>

Beldad, C. (17 de Mayo de 2018). *Domo: entre arte, arquitectura y naturaleza. Un proyecto de Ensamble Studio*. Arquitecturayempresa.es  
<https://arquitecturayempresa.es/noticia/domo-entre-arte-arquitectura-y-naturaleza-un-proyecto-de-ensamble-studio>

Juárez Ruiz, A. *Estructuras laminares: Definición y tipos*. arcux.net  
<https://arcux.net/blog/estructuras-laminares-definicion-y-tipos/>

Rodrigo, C. (23 de abril de 2017). *Técnicas de escalada: posición del cuerpo*. El blog de Explore Translations.  
<https://exploretranslations.wordpress.com/2017/04/23/tecnicas-de-escalada-posicion-del-cuerpo-espanol-in-gles-aleman/>

Cassinello Plaza, M. J. (2011). *Biografía Eduardo Torroja*. Fundación Eduardo Torroja.  
<https://www.fundacioneduardotorroja.org/index.php/es/eduardo-torroja/biografia.html>

## LIBROS

Mario Salvadori con la colaboración de Robert Heller (2005) *Estructuras para arquitectos*. Buenos Aires, Nobuko. ISBN: 987-584-005-X

Beukers, A. (2005) *Lightness: the inevitable renaissance of minimum energy structures*. Rotterdam. 010 Publishers. ISBN: 90-6450-560-8.

Arnaud Petit (2019) *Escalada: Iniciación, placer y progresión*. Madrid, Manuales Desnivel. ISBN:9788498294897

Kersten, C. Editado por Gustavo Gili (1925). *Construcciones de hormigón armado* (versión 12). Barcelona, Guinart y Pujolar, impresores.

## REVISTAS

ARQ, n. 63 Mecánica electrónica / Mechanics & electronics, Santiago, agosto, 2006, p. 30 – 35. ISSN 0717-6996

Arquitectura Viva, n. 209 Bajo tierra, paisajes excavados Madrid, noviembre, 2018, p. 36 – 39

## NORMATIVAS

Código Técnico de la Edificación (CTE)

Documento Básico Seguridad Estructural (CTE DB-SE)

## PÁGINAS WEBS

Torres Búa, M (2014). *Estructuras*. Xunta de Galicia.

[https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/61\\_estructuras\\_masivas.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/61_estructuras_masivas.html)

Estructuratec (2016). *Sistemas Estructurales I, Cascarones*. estructuratec.

<https://estructuratec.wordpress.com/2016/11/20/cascarones/>

Arqa (2020). *House & restaurant Junya Ishigami and Associates*. arqa.com

<https://arqa.com/arquitectura/proyectos/house-restaurant.html>

Mengual Muñoz, A. *Félix Candela*. Urbipedia.

[https://www.urbipedia.org/hoja/F%C3%A9lix\\_Candela](https://www.urbipedia.org/hoja/F%C3%A9lix_Candela)

Becosan (2021) *Hormigón endurecido*. Becosan.com

[https://www.becosan.com/es/hormigon-endurecido/#Que\\_es\\_el\\_hormigon\\_endurecido](https://www.becosan.com/es/hormigon-endurecido/#Que_es_el_hormigon_endurecido)

Antón García Abril y Ensamble Studio (2005–2008). Casa Hemeroscopium. Wikiarquitectura

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-hemeroscopium/>

Antón García-Abril y Débora Mesa. Ensamble Studio (1998)

<https://www.ensamble.info/about>

## MANUALES

Clemens Preisinger (2016). Karamba User Manual for Version 1.2.2  
[https://web.arch.virginia.edu/~km6e/arch721/docs/Karamba\\_1\\_2\\_2\\_Manual.pdf](https://web.arch.virginia.edu/~km6e/arch721/docs/Karamba_1_2_2_Manual.pdf)

Universidad de Zaragoza (2014). Repositorio Institucional de Documentos ZAGUAN. Generación de modelos 3D mediante ingeniería inversa para el diseño industrial  
[https://zaguan.unizar.es/record/5466/files/TAZ-PFC-2010-407\\_\\_ANE.pdf](https://zaguan.unizar.es/record/5466/files/TAZ-PFC-2010-407__ANE.pdf)

## TFG / TRABAJOS

Rodriguez Elvira, E. (2015). *Estructuras de grandes luces*. Valladolid, trabajo fin de grado, Fundamentos de la arquitectura, Escuela Superior Técnica de Arquitectura de Valladolid.  
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/14071/TFG-A-024.pdf;jsessionid=8AAE504494C209E32F1926F7E-C152378?sequence=1>

Baldanta Callejo, C. (2015). *Análisis estructural de la cubierta del pabellón de cocinas de la universidad laboral de Tarragona*. Valencia, trabajo fin de grado, Fundamentos de la arquitectura, Escuela Superior Técnica de Arquitectura de Valencia.  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55265/Cristina%20Baldanta%20TFG%201%20%28baja%20resoluci%C3%B3n%29\\_1441218655796308342576161243288.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55265/Cristina%20Baldanta%20TFG%201%20%28baja%20resoluci%C3%B3n%29_1441218655796308342576161243288.pdf?sequence=3)

González-Garcés Mediero, M. (2018). *Influencia de la técnica en la forma arquitectónica. La evolución del lenguaje del hormigón armado*. Madrid, trabajo fin de grado, Fundamentos de la arquitectura, Escuela Superior Técnica de Arquitectura de Madrid.  
[http://oa.upm.es/51777/1/TFG\\_Gonzalez\\_Garces\\_Mediero\\_Martin.pdf](http://oa.upm.es/51777/1/TFG_Gonzalez_Garces_Mediero_Martin.pdf)

Sánchez González, I. (15 de octubre de 2015). *Diseño y cálculo estructural de un rocódromo*. Leganés, Proyecto fin de carrera, Ingeniería industrial, Universidad Carlos III de Madrid.  
[https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26000/PFC\\_Ignacio\\_Sanchez\\_Gonzalez.pdf;jsessionid=B-43C9EF8B2C3335F122E99FE9488248D?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26000/PFC_Ignacio_Sanchez_Gonzalez.pdf;jsessionid=B-43C9EF8B2C3335F122E99FE9488248D?sequence=1)

Requena Ruiz, I. *Análisis de tipologías estructurales, bóveda, lámina, cúpula y paraboloide*.  
<https://deim.urv.cat/~blas.herrera/2.pdf>

## APUNTES

Apuntes de la asignatura de Estructuras 2. Fundamentos de la Arquitectura. 3º Curso. Universidad de Alicante.

Apuntes de la asignatura de Estructuras 3. Fundamentos de la Arquitectura. 4º Curso. Universidad de Alicante.

Apuntes de la asignatura de la Estructura en el Proyecto Arquitectónico. Fundamentos de la Arquitectura. 5º Curso. Universidad de Alicante.

## 14.2 BIBLIOGRAFÍA DE IMÁGENES

Figura 1. Escalada clásica. Recuperado de:

<https://www.desnivel.com/escalada-roca/accesos/la-escalada-clasica-se-permitira-en-san-bartolo-cadiz>

Figura 2. Escalada deportiva. Recuperado de:

[https://elpais.com/deportes/2019/10/19/actualidad/1571495208\\_649220.html](https://elpais.com/deportes/2019/10/19/actualidad/1571495208_649220.html)

Figura 3. Escalada en bloque. Recuperado de:

<http://asturwaterman.blogspot.com/2017/06/escuela-de-escalada-la-dehesa-bloque.html>

Figura 4. Escalada libre. Recuperado de:

<https://climblifelifestyle.wordpress.com/2014/02/10/esto-es-alex-honnold/>

Figura 5. Psicobloc. Recuperado de:

<https://www.desnivel.com/escalada-roca/chris-sharma-completa-su-trilogia-mallorquina-de-psicobloc-con-big-fish-8c-plus-9a/>

Figura 6. Escalada en hielo. Recuperado de:

<https://www.barrabes.com/blog/reportajes/2-10520/guia-escalada-hielo-dolomitas-alpes>

Figura 7. Escalada urbana. Recuperado de:

<https://www.todosurf.com/magazine/off-topic/la-evolucion-de-la-escalada-en-la-cultura-urbana-surf-2633-hm/>

Figura 8. Escalada artificial. Recuperado de:

[https://kissthemountain.com/revista/chris-sharma-arte-en-la-roca/\\_8-11/](https://kissthemountain.com/revista/chris-sharma-arte-en-la-roca/_8-11/)

Figura 9. Escalada en solitario. Recuperado de:

<https://www.guiaszonacentro.com/curso-escalada-artificial-madrid/>

Figura 10. Escalada de velocidad (artificial). Recuperado de:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Speed\\_climbing](https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_climbing)

Figura 11. Escalada deportiva (artificial). Recuperado de:

<https://www.timeout.es/madrid/es/noticias/abre-en-madrid-el-rocodromo-y-centro-de-escalada-mas-grande-de-espanya-111620>

Figura 12. Boulder (artificial). Recuperado de:

<https://rocodromos.com/sharma-climbing-bnc/>



Figura 13. Escalada en hielo (artificial). Recuperado de:

<https://www.desnivel.com/escalada-hielo/escalada-hielo-competiciones/todo-listo-para-la-copa-del-mundo-de-escalada-en-hielo-2015/>

Figura 14. Dificultad. Recuperado de:

<https://www.desnivel.com/escalada-hielo/escalada-hielo-competiciones/todo-listo-para-la-copa-del-mundo-de-escalada-en-hielo-2015/>

Figura 15. Material, asegurador. Recuperado de:

<https://www.petzl.com/ES/es/Sport/Aseguradores--descensores/GRIGRI>

Figura 16. Material, fisureros. Recuperado de:

<https://www.barrabes.com/dmm-hb-alloy-offset-set-711/p-77046>

Figura 17. Material, cintas exprés. Recuperado de:

<https://masvertical.com/catalogo/cintas-express/3041-cinta-express-montgrony-fixe.html>

Figura 18. Material, chapa. Recuperado de:

<https://www.suescalada.com/escalada/1084-chapa-acero-inox-climbtech.html>

Figura 19. Material, pie de gato. Recuperado de:

<https://tienda.deporteskoala.com/hombre-pies-de-gato-calzado/3596-pie-de-gato-para-escalada-furia-s-scarpa-2020-.html>

Figura 20. Material, friends. Recuperado de:

<https://www.barrabes.com/totem-cams-totem-cam-set-11.251.50/p-128118?idvariedad=501737&opt=d>

Figura 21. Material, arnés. Recuperado de:

<https://www.campz.es/mammut-ophir-speedfit-women-women-grey-pink-922671.html>

Figura 22. Material, casco. Recuperado de:

<https://www.deporteskoala.com/cascos-de-escalada/>

Figura 23. Material, línea de vida. Recuperado de:

<https://www.lasabuelasdesevil.com/barranquismo/cabo-de-ancilaje/connect-adjust-petzl/>

Figura 24. Presas y agarres, regleta. Recuperado de:

<https://woguclimbing.com/ideas-generales-entrenamiento-para-dedos-tabla-multipresa/>

Figura 25. Presas y agarres, agujeros. Recuperado de:

<https://presasg8.es/blog/tipos-de-presas-de-escalada/>

Figura 26. Presas y agarres, cazo. Recuperado de:

<https://eclipsepresas.com/cazos/pack-de-presas-escalada-riglos.html>

Figura 27. Presas y agarres, pinza. Recuperado de:

<https://deescalada.com/presas-escalada>

Figura 28. Presas y agarres, romo. Recuperado de:

<https://topholds.com/oferta/ocr/entrenamiento/presas/bola-roma-campus-12cm/>

Figura 29. Presas y agarres, chorrera. Recuperado de:

<https://exploretranslations.wordpress.com/2017/03/04/tipos-de-agarre-en-escalada-espanol-ingles-aleman/>

Figura 30. Presas y agarres, invertido. Recuperado de:

<https://escaladayferratas.com/tipos-de-escalada/boulder/rocodromo>

Figura 31. Presas y agarres, agarre lateral. Recuperado de:

<https://exploretranslations.wordpress.com/2017/03/04/tipos-de-agarre-en-escalada-espanol-ingles-aleman/>

Figura 32. Movimientos, mantel. Recuperado de:

<https://escaladagranada.es/tecnicas-de-escalada-y-gestualidad/tecnicas-de-escaladamantel>

Figura 33. Movimientos, rana. Recuperado de:

<https://exploretranslations.wordpress.com/2017/04/23/tecnicas-de-escalada-posicion-del-cuerpo-espanol-ingles-aleman/>

Figura 34. Movimientos, bicicleta. Recuperado de:

<https://www.desnivel.com/bulder/nuevo-8c-de-ondra-dias-antes-del-campeonato-europeo-de-dificultad/>

Figura 35. Movimientos, empotramientos. Recuperado de:

<https://woguclimbing.com/adam-ondra-opina-sobre-uso-rodilleras-escalada/>

Figura 36. Movimientos, oposición. Recuperado de:

<https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-6317/escalada-bavaresas-chimeneas>

Figura 37. Movimientos, bandera. Recuperado de:

<https://exploretranslations.wordpress.com/2017/04/23/tecnicas-de-escalada-posicion-del-cuerpo-espanol-ingles-aleman/>

Figura 38. Movimientos, montarse sobre el pie. Recuperado de:

<https://exploretranslations.wordpress.com/2017/04/23/tecnicas-de-escalada-posicion-del-cuerpo-espanol-ingles-aleman/>

Figura 39. Referencias, Amann Canovas Maruri (2008), Cubierta para el Parque Arqueológico de El Molinete. Recuperado de:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-139552/cubierta-para-el-parque-arqueologico-de-el-molinite-amann-canovas-maruri>

Figura 40. Referencias, Massimiliano y Doriana Fuksas (2013), Hotelfachschule in Montpellier. Recuperado de:

<https://www.detail.de/artikel/parametrisches-kaleidoskop-hotelfachschule-in-montpellier-10070/#>

Figura 41. Referencias, Marin + Trotti Architects , Peripheriques Architectes (2015) Espace Culturel de La Hague. Recuperado de:

<https://www.archdaily.com/781852/espace-culturel-de-la-hague-peripheriques-architectes-plus-marin-plus-trotti-architects>

Figura 42. Referencias, Moneo Brock Studio (2010) Recinto Ferial de Cuenca. Recuperado de:

<http://www.arquitour.com/recinto-ferial-de-cuenca-moneo-brock-studio-arquitectos/2012/09/>

Figura 43. Referencias, Christian Eckart (2013) Perturbación Hexagonal de vidrio. Recuperado de:

<https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/art-calgary-wolfe-winter-garden-bloom-boer-1.3547649>

Figura 44. Referencias, Softlab, Festival of Love. Recuperado de:

<https://www.designboom.com/art/ventricle-installations-softlab-festival-love-london-uk-07-30-2016/>

Figura 45. Referencias, Olafur Eliasson (2007) Túnel de color unidireccional . Recuperado de:

<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK100442/one-way-colour-tunnel>

- Figura 46. Referencias, Escuela de Diseño de la Universidad de las Artes de Nanjing (2017), Pabellón Flora. Recuperado de:  
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/881197/pabellon-flora-escuela-de-diseno-de-la-universidad-de-las-artes-de-nanjing>
- Figura 47. Referencias, Salvador Dalí (1974) Cúpula Teatro-Museo Dalí. Recuperado de:  
<http://www.perezpinero.org/cupula-dali/>
- Figura 48. Referencias, Sou Fujimoto, Estructura nómada habitable para la Feria de Arte de París. Recuperado de:  
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/756876/sou-fujimoto-construye-estructura-nomada-habitable-para-la-feria-de-arte-de-paris>
- Figura 49. Referencias, Sou Fujimoto (2013) Serpentine Gallery Pavilion. Recuperado de:  
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-266548/serpentine-pavilion-sou-fujimoto>
- Figura 50. Referencias, Restaurante el Centro, Barranco de Guayadeque, Gran Canaria. Recuperado de:  
<http://www.restauranteelcentro.com/esp/restaurante.php>
- Figura 51. Referencias, Restaurante el Centro, Barranco de Guayadeque, Gran Canaria. Recuperado de:  
<http://www.restauranteelcentro.com/esp/restaurante.php>
- Figura 52. Referencias, Marc Fornes (2019) Pabellón Pillars of Dreams. Recuperado de:  
<https://theverymany.com/pillars-of-dreams>
- Figura 53. Referencias, Marc Fornes (2019) Pabellón Pillars of Dreams. Recuperado de:  
<https://theverymany.com/pillars-of-dreams>
- Figura 55. Referencias, Marc Fornes (2019) Pabellón Pillars of Dreams. Recuperado de:  
<https://theverymany.com/pillars-of-dreams>
- Figura 56. Referencias, Junya Ishigami (2018) House & Restaurant. Recuperado de:  
<https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>
- Figura 57. Referencias, Junya Ishigami (2018) House & Restaurant. Recuperado de:  
<https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>
- Figura 58. Referencias, Junya Ishigami (2018) House & Restaurant  
<https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>
- Figura 59. Referencias, Junya Ishigami (2018) House & Restaurant. Recuperado de:  
<https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>
- Figura 60. Referencias, BIG (2017) Planta de Tratamiento Amager. Recuperado de:  
<https://theluxonomist.es/2019/10/08/la-pista-de-esqui-mas-ecologica-del-mundo-esta-en-copenhague/juan-jose-perez-monzon>
- Figura 61. Referencias, New Wave Architecture, Rock Gym. Recuperado de:  
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-334350/new-wave-architecture-disena-rock-gym-para-polur>
- Figura 62. Referencias, kletterhalle Bruneck. Recuperado de:  
<https://www.kronplatz.com/de/bruneck/sommer/klettern>

Figura 63. Referencias, NL Architects Propuesta Siloo O. Recuperado de:  
<https://www.archdaily.com/20955/the-silo-competition-proposal-by-nl-architects-ill-an-indoor-wealth-of-walls-brings-a-flashback-to-new-zealand>

Figura 64. Referencias, NL Architects, Siloo O. Recuperado de:  
<https://inhabitat.com/nl-architects-get-second-chance-to-turn-an-abandoned-silo-into-a-climbing-gym/siloo-o-nl-architects-8/>

Figura 65. Referencias, Climb So iLL. Recuperado de:  
<https://news.stlpublicradio.org/arts/2013-05-27/climb-so-ill-an-indoor-wealth-of-walls-brings-a-flashback-to-new-zealand>

Figura 66. Referencias, Sharma Climbing. Recuperado de:  
<https://www.sharmaclimbingmadrid.com/es/inicio/>

Figura 67. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 68. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 69. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 70. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 71. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 72. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 73. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 74. Experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 75. Vías experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 76. Vías experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 77. Vías experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 78. Vías experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 79. Vías experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 80. Vías experiencia personal (Imagen). Elaboración propia

Figura 81. Diagrama (Imagen). Elaboración propia

Figura 82. Estructura resistente por su forma. Recuperado de:

Mario Salvatore con la colaboración de Robert Heller (2005) Estructuras para arquitectos. Buenos Aires, Nobuko. ISBN: 987-584-005-X

Figura 83. Perturbación de flexión en el borde de una cúpula. Recuperado de:

Mario Salvatore con la colaboración de Robert Heller (2005) Estructuras para arquitectos. Buenos Aires, Nobuko. ISBN: 987-584-005-X

Figura 84. Deformación de una cúpula esférica. Recuperado de:

Mario Salvatore con la colaboración de Robert Heller (2005) Estructuras para arquitectos. Buenos Aires, Nobuko. ISBN: 987-584-005-X

Figura 85. Tensiones meridionales en una cúpula esférica. Recuperado de:

Mario Salvatore con la colaboración de Robert Heller (2005) Estructuras para arquitectos. Buenos Aires, Nobuko. ISBN: 987-584-005-X

Figura 86. Félix Candela (1958) Restaurante los manantiales. Recuperado de:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/restaurante-los-manantiales/>

Figura 87. Félix Candela (1958-1960) Planta embotelladora de bacardí. Recuperado de:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/planta-embotelladora-de-bacardi/>

Figura 88. Félix Candela (1959) Iglesia San José Obrero. Recuperado de:

<https://patrimoniomoderno.mx/historias/la-iglesia-de-san-jose-obrero-en-la-trayectoria-compartida-de-enrique-de-la-mora-y-felix-candela/>

Figura 89. Eduardo Torroja (1941) Hipódromo de la Zarzuela. Recuperado de:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/797811/clasicos-de-arquitectura-hipodromo-de-la-zarzuela-carlos-arniches-molto-plus-martin-dominguez-plus-eduardo-torroja>

Figura 90. Eduardo Torroja (1935) Mercado de Abastos de Algeciras. Recuperado de:

<https://veredes.es/blog/oficio-del-consultor-estructuras-ii-juan-carlos-arroyo/>

Figura 91. Eduardo Torroja (1935) Frontón Recoletos. Recuperado de:

<http://hiddenarchitecture.net/fronton-recoletos/>

Figura 92. Cono de Abrams. Recuperado de:

<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion10b.pdf>

Figura 93. Antón García-Abril (2008) Casa Hemeroscopium . Recuperado de:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-hemeroscopium/>

Figura 94. Antón García-Abril (2008) Casa Hemeroscopium . Recuperado de:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-hemeroscopium/>

Figura 95. Antón García-Abril (2008) Casa Hemeroscopium . Recuperado de:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-hemeroscopium/>

Figura 96. Antón García-Abril (2018) Domo. Recuperado de:

<https://arquitecturayempresa.es/noticia/domo-entre-arte-arquitectura-y-naturaleza-un-proyecto-de-ensamble-studio>

Figura 97. Antón García-Abril (2018) Domo. Recuperado de:

<https://arquitecturayempresa.es/noticia/domo-entre-arte-arquitectura-y-naturaleza-un-proyecto-de-ensamble-studio>

Figura 98. Antón García-Abril (2018) Domo. Recuperado de:

<https://arquitecturayempresa.es/noticia/domo-entre-arte-arquitectura-y-naturaleza-un-proyecto-de-ensamble-studio>

Figura 99. Antón García-Abril (2018) Domo. Recuperado de:

<https://arquitecturayempresa.es/noticia/domo-entre-arte-arquitectura-y-naturaleza-un-proyecto-de-ensamble-studio>

Figura 100. Junya Ishigami (2018) House & Restaurant. Recuperado de:

<https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>

Figura 101. Junya Ishigami (2018) House & Restaurant. Recuperado de:

<https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>



- Figura 102. Junya Ishigami (2018) House & Restaurant. Recuperado de: <https://arquitecturaviva.com/obras/casa-y-restaurante-cueva-en-yamaguchi>
- Figura 103. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 104. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 105. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 106. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 107. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 108. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 109. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 110. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 111. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 112. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 113. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 114. Modelo estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 115. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 116. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 117. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 118. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 119. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 120. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 121. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 122. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 123. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 124. Fotogrametría estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 125. Digitalización estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 126. Digitalización estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 127. Digitalización estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 128. Digitalización estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 129. Digitalización estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 130. Diagrama estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 131. Proceso estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 132. Proceso estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 133. Proceso estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 134. Estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 135. Estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 136. Estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 137. Estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 138. Estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 139. Estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia

[illegible]

- Figura 183. Digitalización estructura pesada 2 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 184. Digitalización estructura pesada 2 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 185. Diagrama propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 186. Ubicación propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 187. Ubicación propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 188. Ubicación propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 189. Primer acercamiento propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 190. Primer acercamiento propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 191. Primer acercamiento propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 192. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 193. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 194. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 195. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 196. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 197. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 198. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 199. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 200. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 201. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 202. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 203. Proceso propuesta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 204. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 205. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 206. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 207. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 208. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 209. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 210. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 211. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 212. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 213. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 214. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 215. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 216. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 217. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 218. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 219. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 220. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 221. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia

Figura 222. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 223. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 224. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 225. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 226. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 227. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 228. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 229. Maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 230. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 231. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 232. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 233. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 234. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 235. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 236. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 237. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 238. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 239. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 240. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 241. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 242. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 243. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 244. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 245. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 246. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 247. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 248. Fotogrametría maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 249. Digitalización maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 250. Digitalización maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 251. Digitalización maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 252. Digitalización maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 253. Digitalización maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 254. Digitalización maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 255. Sección 1 maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 256. Sección 2 maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 257. Sección 3 maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 258. Sección 4 maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 259. Sección 5 maqueta final (Imagen). Elaboración propia  
Figura 260. Sección 6 maqueta final (Imagen). Elaboración propia

- Figura 261. Sección 7 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 262. Sección 8 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 263. Sección 9 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 264. Sección 10 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 265. Sección 11 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 266. Sección 12 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 267. Sección 13 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 268. Sección 14 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 269. Sección 15 maqueta final (Imagen). Elaboración propia
- Figura 270. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 271. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 272. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 273. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 274. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 275. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 276. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 277. Procedimiento grasshopper (Imagen). Elaboración propia
- Figura 278. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 279. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 280. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 281. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 282. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 283. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 284. Diagramas de esfuerzos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 285. Diagramas desplazamientos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 286. Diagramas desplazamientos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 287. Diagramas desplazamientos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 288. Diagramas desplazamientos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 289. Diagramas desplazamientos, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 290. Diagramas de deformación, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 291. Diagramas de deformación, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 292. Diagramas de deformación, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 293. Diagramas de deformación, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 294. Líneas isostáticas, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 295. Líneas isostáticas, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 296. Líneas isostáticas, estructura ligera (Imagen). Elaboración propia
- Figura 297. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 298. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia
- Figura 299. Diagramas de esfuerzos, estructura pesada 1 (Imagen). Elaboración propia



[illegible]







